

Les centrales Alstom

Histoire d'un partenariat dans la durée



Centrale HEP Plomin, Croatie

Depuis 2006 et un premier rapport d'expertise, portant sur des désordres sur une centrale électrique en Argentine, ALSTOM POWER SYSTEMS fait régulièrement appel à TERRASOL pour la maîtrise du « risque sol » sur ses projets.

ALSTOM POWER SYSTEMS est l'un des principaux acteurs dans le domaine de l'énergie et l'une de ses spécialités est la fourniture de moyens de production d'électricité en EPC (Engineering, Procurement and Construction), soit « clé en main ». Ses domaines d'intervention recouvrent les centrales thermiques (gaz, fioul, charbon), les centrales biomasse (souvent en complément d'un autre combustible) et les centrales solaires (à fluide caloporteur).

Après quelques dossiers traités, il est vite apparu que la spécificité des phases auxquelles était soumis ALSTOM nécessitait de la part de TERRASOL la mise au point de méthodes de travail et d'un enchaînement de missions particulières, pour s'adapter au mieux aux exigences des projets.

Ainsi, l'impératif étant la maîtrise du risque sol dès la phase de l'appel d'offres, pour qu'ALSTOM puisse négocier avec son propre client soit le chiffrage de la prise en compte dudit risque, soit son transfert vers son client, une grosse partie des investigations géotechniques doit être menée puis interprétée avant la signature du marché. Ceci est indispensable pour cerner au plus juste non seulement le coût des ouvrages géotechniques mais aussi l'impact planning qui peut être conséquent (consolidation de sol, phasage).

Un enchaînement spécifique des missions d'Ingénierie géotechnique a donc été mis au point :

- Analyse des données disponibles (souvent rares) et première étude de faisabilité mettant en avant les principes généraux des ouvrages géotechniques (types de fondations envisageables, problématiques de consolidation/renforcement de sol, rabattement, etc).
- Rédaction de la première version de la note d'hypothèses (Soil Baseline Assumptions). C'est le document de base de la phase appel d'offres qui fixe les hypothèses qu'ALSTOM retient pour son chiffrage et qui peuvent être rendues contractuelles,
- Préparation de la première version de l'analyse de risque sol (Soil Risk Analysis) pour appréhender les risques de dérives identifiés,
- Préparation du cahier des charges des reconnaissances complémentaires. Celles-ci visent à préciser les données sont manquantes et/ou celles pour lesquelles l'analyse de risques a mis en évidence une grande imprécision.
- Préparation des cahiers des charges de réalisation des principaux travaux géotechniques (pieux, renforcements de sol, consolidation) en vue de la consultation par ALSTOM des entreprises,
- Suivi sur site des investigations complémentaires.
- Rapport interprétatif des investigations complémentaires pour le dimensionnement fiabilisé de tous les ouvrages géotechniques.

On notera qu'il s'agit là des missions réalisées durant la phase où ALSTOM est encore en négociation avec son client, et donc non encore attributaire du marché de construction de la centrale. Naturellement, en cas d'adjudication, les études géotechniques se poursuivent en phase exécution.

Ces missions sont souvent très étalées dans le temps et il est courant que la phase appel d'offres s'étende sur une durée de deux ans.

Depuis 2006, ce sont plus de 45 affaires qui ont ainsi été traitées avec ALSTOM POWER SYSTEMS en Europe (France, Royaume-Uni, Croatie, Hollande, Belgique), en Asie (Vietnam, Malaisie, Thaïlande, Indonésie), en Afrique (Algérie, Tunisie, Maroc, Afrique du Sud), au Moyen Orient (Irak, Israël, Arabie Saoudite) et en Amérique Latine (Brésil, Argentine).

Edito

L'ingénierie de l'énergie au sens large rassemble une multitude de compétences, au sein desquelles la géotechnique peut sembler marginale.

Il n'en est rien et TERRASOL le démontre tous les jours en apportant son concours à des projets variés (énergie hydro-électrique, oil & gas, éoliennes, centrales thermiques, énergie nucléaire, etc), et ce dans toutes les régions du monde, comme l'illustrent les articles de ce numéro de La Lettre Terrasol.

Les projets liés à l'énergie hydro-électrique présentent des problématiques géologiques et géotechniques fortes en raison du type d'ouvrages qu'ils mettent en œuvre (barrages, galeries), et TERRASOL est présente dans ce domaine quasiment depuis sa création de par ses compétences en ouvrages souterrains et stabilités de pentes.

Les gros réservoirs de stockage constituent également l'un de nos champs d'intervention de prédilection en raison de la pertinence de nos approches en interaction sol/structure.

D'autre part, TERRASOL a contribué au développement des méthodes de calcul des fondations d'éoliennes en étudiant la résistance des micropieux sous sollicitations cycliques.

Enfin, concernant les centrales thermiques, bien que le génie civil ne représente qu'environ 15% du coût de tels projets, le « risque sol » est un paramètre fondamental pour la maîtrise du planning des projets, avec un impact majeur en cas de dérive. Ici encore, l'expertise de TERRASOL est mise à contribution par les majors du domaine.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce numéro spécial « Energie » qui vous présente un panel de notre savoir-faire en géotechnique dans ce domaine aux enjeux stratégiques primordiaux.

J. Drivet

Enfin, pour faciliter l'analyse de risques, TERRASOL et ALSTOM POWER SYSTEMS ont mis conjointement au point un « arbre logique » qui permet de manière simple non seulement de repérer les domaines dans lesquels un risque peut subsister en fonction des données disponibles, mais également d'orienter les investigations à mener pour évaluer plus précisément l'impact de ce risque.

J. Drivet

Centrale de Toul

France



Crédit photo : @ Siemens

Après celle de Pont sur Sambre, POWEO a construit une nouvelle centrale électrique à Toul sur le site d'une ancienne base aérienne.

La réalisation de cette unité, d'une puissance de 412 MW, fonctionnant au gaz en cycle combiné, a été confiée à SIEMENS qui s'est adjoint l'expertise de TERRASOL pour les études géotechniques de projet et le suivi de la réalisation des fondations. Pour appréhender le contexte géotechnique et hydrogéologique, à la vue de l'ampleur du projet, il a été nécessaire de réaliser 32 forages (carottés, pressiométriques), 40 essais CPT (avec mesure de la pression interstitielle) et 16 essais de chargement sur pieux (statiques verticaux, statiques horizontaux et dynamiques). Après analyse des résultats, TERRASOL a dimensionné les fondations profondes pour les différents bâtiments du projet (pieux CFA) et suivi l'exécution (par SPIE FONDATIONS) de plus de 9100 ml de pieux représentant un volume de béton d'environ 2400 m³. TERRASOL a également assisté l'équipe de travaux de SIEMENS pour les aspects constructifs des différents ouvrages géotechniques (fouilles, soutènements, stabilité du merlon anti-bruit, structure des voiries, etc). Avant son inauguration en juin 2013, ce chantier d'envergure a mobilisé jusqu'à 500 personnes sur site.

J. Drivet

Centrale de production d'énergie de Vridi – CIPREL IV

Abidjan, Côte d'Ivoire

La centrale thermique de la Compagnie Ivoirienne de Production d'Electricité (CIPREL) est située au sud-est d'Abidjan, dans la zone du canal de Vridi, qui fait communiquer la lagune Ebré avec l'Océan Atlantique. La société CEGELEC a été retenue par la CIPREL pour la construction clé en main d'une extension, en quatrième tranche, de la centrale existante, permettant d'augmenter la capacité de production de 111 MW supplémentaires.

A la demande de SETEC ENERGY SOLUTIONS, qui assure l'assistance technique auprès de CEGELEC pour les aspects liés au génie civil, TERRASOL a été sollicitée pour les études géotechniques de projet G2. TERRASOL est d'abord intervenue avec la définition de la campagne géotechnique et une mission de suivi des sondages en juin et août 2012. La campagne de sondages a été marquée par la mise en place d'essais Cross-Hole, dont la réalisation fut une grande première en Côte d'Ivoire. L'analyse des essais a permis d'écarter le risque de liquéfaction lié au phénomène vibratoire de la turbine.



Crédit photo : CEGELEC

Dans un second temps, TERRASOL a dimensionné les fondations des différents ouvrages (turbine, charpente métallique, cheminée, bâtiments, etc) en adaptant au cas par cas les techniques mises en œuvres en fonction des niveaux de chargement et des critères stricts de tassements différentiels (fondations superficielles sur radier, micropieux, radier couplé à des viroles réalisées par havage, etc).

C. Bernuy

Centrales électriques de Jijel et Biskra

Algérie



Crédit photo : HYUNDAI

La société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), société filiale du Groupe SONELGAZ, a lancé en 2013 un projet de réalisation de 6 centrales électriques à cycle combiné d'une puissance installée de 1200 à 1600 MW chacune. Ces centrales font partie de son plan de développement 2013/2017, pour un montant global d'environ 4 milliards de dollars. Deux de ces projets ont été confiés au consortium sud-coréen HYUNDAI Engineering & Construction / DAEWOO International : les centrales d'Oumache (Wilaya de Biskra) et de Bellara (Wilaya de Jijel), d'une capacité de 1400 MW chacune.

Dans le cadre de l'exécution des travaux, HYUNDAI E & C a confié à TERRASOL l'élaboration des études géotechniques des deux projets afin de définir le mode de fondation le plus approprié pour l'ensemble des équipements des futures centrales.

TERRASOL a défini puis supervisé la campagne de reconnaissances, dont la réalisation a été confiée à une société locale (GEOLAB). Dès l'examen des premiers résultats de sondages réalisés sur le site de Bellara, TERRASOL, en concertation avec HYUNDAI E & C,

a décalé le projet vers le sud afin de l'éloigner d'une zone fortement compressible. Toujours sur le site de Bellara, TERRASOL a ensuite mis en évidence un risque résiduel de présence lenticulaire de sols mous sous les fondations des massifs turbines, pouvant induire des tassements différentiels inacceptables pour ce type d'ouvrage. Pour lever cette incertitude, TERRASOL a proposé la réalisation d'une campagne complémentaire par sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de forage.

À l'issue de la réalisation de l'ensemble des sondages et essais, TERRASOL a pu finaliser l'interprétation des données géotechniques, définir les modèles stratigraphiques et les hypothèses géotechniques, puis préciser le mode de fondation le mieux adapté avec pré-dimensionnement des fondations selon les référentiels en vigueur pour les 2 projets. Enfin, TERRASOL a eu en charge l'assistance technique à l'entreprise lors de l'exécution de ces travaux de fondations.

M. Yahia-Aissa et C. Babin

Remplacement des conduites forcées de Malgovert

Bourg-Saint-Maurice, France

L'aménagement de Malgovert est un maillon essentiel du bassin hydroélectrique de la Haute Isère (3/4 de la puissance installée, soit 300 MW mobilisables en quelques minutes), et un outil important de gestion du réseau électrique. Il se compose d'une galerie d'amenée de 15 km aboutissant à deux conduites forcées de 1500 m de long et 750 m de dénivelée dans un versant affecté de mouvements profonds et lents.

Les travaux de renouvellement des conduites forcées ont été confiés à SPIE-BATIGNOLLES ; TERRASOL est son géotechnicien. Les travaux nécessitent de disposer de grues mobiles et d'amener des pièces de chaudronnerie particulièrement pesantes à l'emplacement des conduites. Situés dans la pente d'un versant à 30° en moyenne, les terrassements des pistes et plateformes de travail sont délicats et demandent la conception de nombreux ouvrages variés : parois clouées, murs poids en enrochement, remblais renforcés, écrans pare-blocs...



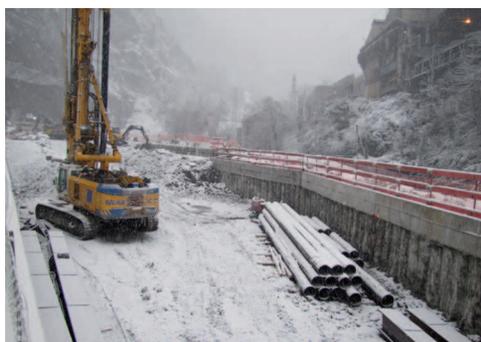
Crédit photo : ©EDF - Pascal Tournaire

En outre, s'agissant d'un projet en montagne et sur un aménagement ancien, les « surprises » sont courantes : variations rapides de la géologie, ou présence d'ouvrages anciens ou abandonnés (soutènements, fondations, galeries, blondins...) qui nous conduit parfois vers une dimension archéologique. Le projet nécessite donc une présence très régulière sur le site pendant les travaux, et une adaptation en continu des études à la réalité d'un site complexe.

F. Binet

Aménagement hydraulique EDF de Gavet

Isère, France



TERRASOL assure une mission globale d'expertise géotechnique pour le nouvel aménagement hydraulique de Romanche-Gavet (Isère), avec la participation d'Alain GUILLOUX au Comité Technique. Cet aménagement est constitué d'une centrale souterraine, équipée de deux groupes de production, qui remplacera les six centrales existantes sur la Romanche et permettra d'augmenter les capacités de production de 10%. Le chantier Romanche-Gavet est le plus gros chantier hydraulique actuellement développé par EDF en France.

TERRASOL réalise parallèlement une mission d'assistance hydrogéologique et géotechnique en phase d'exécution pour les ouvrages aval de restitution, pour lesquels il a été réalisé un batardeau permettant l'excavation d'une fouille de 100 m sur 30 m, atteignant 12 m de profondeur. TERRASOL est intervenue dans la définition et le suivi de la campagne géotechnique début 2012, et dans la rédaction de la note d'hypothèses géotechniques. TERRASOL a ensuite assuré un contrôle externe des notes d'exécution du batardeau.

De plus, afin de dimensionner la solution de pompage nécessaire au rabattement de la nappe en-deçà du fond de fouille en cas de crue décennale, une étude hydraulique 3D a été conduite en s'attachant à représenter le plus fidèlement possible la réalité du terrain, à savoir une stratigraphie irrégulière et la présence d'une nappe profonde captive. Une étude paramétrique de sensibilité (débit, position des puits de pompage) a permis d'optimiser la solution de rabattement.

C. Bernuy et Y. Bagagli

Barrage de Tabellout

Texenna, Algérie

L'Agence Nationale des Barrages et des Transferts d'Algérie (ANBT) a confié au groupement GEIE/RAZEL/CMC/RAVENA l'exécution du projet de barrage de Tabellout situé près de la ville de Texenna à 70 km environ au sud de la wilaya de Jijel (Algérie).

Le projet comporte dans son ensemble la réalisation d'un barrage en béton compacté au rouleau (BCR) de 366 m de long et de 112 m de haut (capacité de retenue de 294 hm³), et d'une galerie de transfert de 4,3 m de diamètre (3,5 m de diamètre fini) et de 13 km de long, dont la réalisation est prévue au tunnelier (TBM).

Dès l'entame des travaux, en mars 2010, de nombreux problèmes géotechniques ont été mis en évidence, notamment un éboulement sur la rive gauche du barrage mais aussi de fortes dégradations des voussoirs de la galerie avec développement d'un éboulement, et un blocage du tunnelier pendant plus de 6 mois.

Sur demande du groupement d'entreprises, TERRASOL a effectué courant juillet 2012 une mission d'expertise sur l'éboulement de la rive gauche du barrage avec revue complète des risques d'instabilité de talus et terrassements de l'ensemble du site.



Compte-tenu de la complexité du contexte géologique et du déficit de données géotechniques, TERRASOL assure également une mission d'assistance technique et de conseil au groupement sur les différents aspects géotechniques, notamment pour la prédiction du comportement du massif lors du creusement de la galerie, et tout particulièrement celui des argiles numidiennes et des zones de fauchage suspectées d'être à l'origine des problèmes rencontrés.

M. Yahia-Aissa et A. Guilloux

Usine GNL à Browse

Australie

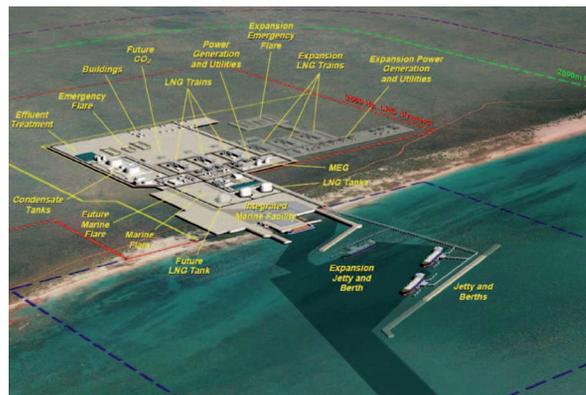
Le projet consiste en la réalisation d'une usine de liquéfaction de gaz naturel dans la péninsule Dampier dans la région de Kimberley (Australie Occidentale). TERRASOL est intervenue en tant qu'assistant géotechnique de SAIPEM qui réalisait un FEED (Front End Engineering Design) compétitif pour WOODSIDE.

Dans la zone maritime, 3 campagnes géophysiques et 5 campagnes géotechniques ont été réalisées entre 2010 et 2012 comprenant une centaine de sondages et plus d'un millier d'essais en laboratoire. La synthèse géotechnique de TERRASOL a permis de tracer plusieurs profils géotechniques, de définir les paramètres géotechniques de calcul et d'évaluer le risque de liquéfaction des terrains du site.

En raison de la présence de sables lâches sur le fond marin, une attention particulière a été portée à l'étude des pressions interstitielles dans ces sables sous la digue principale brise-lames de type caisson. Des calculs dynamiques temporels aux éléments finis à l'aide du logiciel PLAXIS 2D ont été réalisés pour étudier le comportement de la digue principale sous sollicitations sismiques et houles milléniales.

Les séismes ont été modélisés par application des accélérogrammes à la base du modèle : les valeurs d'efforts de houles de la tempête millénaire s'appliquant sur les caissons sont issues d'un modèle physique en bassin. Les terrains sableux ont été modélisés dans un premier temps par une loi de comportement courante (HSM), puis, une fois les essais cycliques de cisaillement disponibles, par une loi avancée (UBC Sand) pouvant simuler l'accumulation de pressions interstitielles et déformations plastiques cycliques dans les sables lâches. Les résultats de ces études ont permis de confirmer la nécessité d'essais et études spécifiques pour étudier le comportement cyclique des sols.

K.V. Nguyen, A. Bergère, A. Guilloux



Crédit photo : Woodside

Développement d'un champ pétrolier

Amazonie, Pérou



C'est au Nord-est du Pérou, au cœur de la forêt Amazonienne, entre la Cordillère des Andes et le bouclier Guyanais, que le projet de champ pétrolier « Bloc 67 » sera développé. L'exploitation s'étend sur un nombre limité de plateformes afin de minimiser l'impact environnemental. Les fluides extraits seront rassemblés et traités dans une centrale de production avant d'être exportés.

La phase initiale du projet porte sur le développement d'un seul champ, dénommé Piraña. Il comporte deux plateformes de puits et une centrale de production ainsi que la conception d'un terminal de chargement / déchargement des fluides sur la rivière Curaray (vers Manaus où ils pourront ensuite être exportés par « pipeline »).

TERRASOL a été sollicitée dans le cadre d'une mission d'assistance géotechnique G2 pour le compte de DORIS ENGINEERING, mandatée par la société PERENCO PETROLEUM LIMITED pour la réalisation de l'ingénierie de la phase initiale de développement du champ. La mission de TERRASOL a consisté principalement en :

- La rédaction des spécifications pour les travaux de terrassement / remblaiement, routes, parkings, bassins, fossés, reconnaissances complémentaires ;
- La production de notes de calcul concernant le dimensionnement des fondations des plateformes et de la centrale de production, et des soutènements à mettre en œuvre le long de la rivière Curaray, ainsi que l'étude des réseaux de drainage (sous-traitée à HYDRATEC).

La majeure partie du travail a été effectuée en interaction directe avec l'équipe du projet de DORIS ENGINEERING, pour une conception optimisée.

A. Bergère

Protection d'un gazoduc contre l'érosion

Yemen

Assurant le transport du gaz depuis les gisements de Marib' au centre du pays jusqu'à Bahlaf sur les côtes du Golfe d'Aden, un « pipe » de YEMEN LNG parcourt près de 320 kilomètres de déserts sableux, pierreux, et parfois très montagneux.

Un tronçon de 5 km, qui permet le passage d'un haut plateau culminant à 1700 m d'altitude à une plaine 800 m plus bas, est soumis à rude épreuve géotechnique : entouré de hautes falaises dolomitiques se délestant de blocs cyclopéens, inscrit dans un versant en limite de stabilité, ce tronçon doit en outre traverser une série d'oueds qui, alimentés par la mousson, érodent tout sur leur passage.

Après une mission d'expertise en 2010 sur les désordres liés à cette érosion torrentielle, TERRASOL a été de nouveau sollicitée par TOTAL durant le mois de mars 2012 pour une mission sur place d'un ingénieur TERRASOL pendant un mois portant sur :

- La conduite de travaux sur un ouvrage hydraulique en gabions et enrochements,
- Une expertise sur l'ensemble des travaux de réaménagement réalisés jusqu'alors.

A. Beaussier

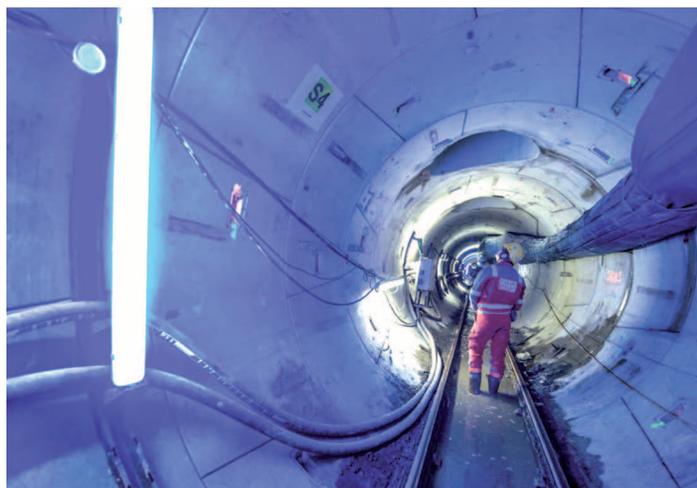


Galerie hydraulique du terminal méthanier de Dunkerque

France

Dans le cadre du projet de terminal méthanier de Dunkerque (Maîtrise d'ouvrage Dunkerque LNG Groupe EDF), TERRASOL, après avoir assuré la conception des fondations des trois réservoirs LNG de 190 000 m³ à la demande du groupement ENTREPOSE PROJETS - BOUYGUES TP, est intervenue en conception puis suivi du creusement de la galerie hydraulique, réalisée par le groupement BRS (CSM BESSAC – RAZEL-BEC – SOLÉTANCHE-BACHY), qui permettra de récupérer 5 à 10% des eaux tièdes provenant de la centrale nucléaire de Gravelines pour réchauffer le gaz liquéfié.

Le puits d'accès à la galerie, de 16 m de diamètre et 50 m de profondeur, a été réalisé en paroi moulée (fiche à 65 m de profondeur). La galerie, de 5 km de long et 3,8 m de diamètre extérieur (3 m intérieur), a été creusée au tunnelier à pression de terre. Son tracé se situe exclusivement dans les argiles de Flandres, un horizon surconsolidé très homogène. La cadence d'avancement était satisfaisante jusqu'à une avarie survenue sur le tunnelier le 29 avril 2014, alors que le tunnelier se trouvait encore sous l'avant-port. Il s'agissait d'une rupture de la liaison (goujons) entre le bloc d'entraînement et la roue de coupe du tunnelier, et il était impossible de poursuivre le creusement sans réparation. De plus, l'intervention devait se faire depuis l'avant du tunnelier, côté roue de coupe. La solution retenue alors par le groupement a été de réaliser une galerie de contournement de 25 m environ, en méthode traditionnelle, en partant de l'arrière de la jupe du tunnelier puis en rejoignant l'avant du tunnelier, avec création d'une chambre de démontage de 6 m de long environ devant la roue de coupe.



Crédit photo : Dunkerque LNG – Happy Day

TERRASOL a assuré la mission G4 de suivi de chantier de la galerie de contournement pour le compte de COFIVA (AMOA de Dunkerque LNG). L'entreprise a travaillé dans un espace extrêmement réduit, avec un maximum de précautions pour assurer la sécurité du personnel et garantir la faisabilité des réparations : excavation en 5 phases, pose de cintres tous les 40 à 80 cm, béton projeté, casquette en palpeilles, madriers, gendarmes, blindages en bois, injections. Les principes de renforcement de la galerie et de la chambre évoluaient au jour le jour selon les conditions de site.

Après 6 mois seulement d'interruption (une partie de ce délai ayant pu être rattrapée ensuite), le tunnelier redémarrait et poursuivait son creusement vers la centrale de Gravelines, site sensible où le tunnelier ne devait pas générer plus de 1 cm de tassement en surface. Au préalable, une zone en remblai nous a permis d'ausculter les tassements en surface sur presque 500 m, afin de valider les paramètres du tunnelier à l'avancement et de caler le modèle 3D du creusement. La pression au front du tunnelier a été augmentée progressivement de 0 à 3 bars sur la zone test afin d'établir une relation tassement/confinement sur un large créneau de pression. Les analyses effectuées ont montré que notre approche numérique s'est révélée capable de représenter correctement la réponse du massif au creusement du tunnel. L'évolution du tassement est influencée par la pression de confinement, et le tassement généré à l'arrière du front est principalement lié au volume de mortier injecté au niveau de la jupe.

Le chantier de réalisation de la galerie s'est achevé en mars 2015 et l'instrumentation mise en place par le groupement BRS au niveau de la centrale, et suivie conjointement par BRS et TERRASOL, a montré que les tassements générés en surface par le tunnelier n'excédaient pas 6 mm. Restait alors à réaliser une dernière étape de raccordement du tunnel aux 12 siphons des bassins de rejet de la centrale nucléaire, préalablement foncés jusqu'à la profondeur du tunnel. Cette méthode de connexion établie par le groupement, extrêmement délicate, a nécessité un matériel spécifique (carotteuse de 0,6 m de diamètre circulant sur rail) et des opérations de terrassement en petite section depuis un espace exigu de 1,30 m de diamètre. TERRASOL est intervenue, auprès de COFIVA, sur la validation des principes de raccordement et sur le suivi des opérations sur site.

La mise en eau de la galerie est prévue courant août 2015.

A. Bergère, H. Le Bissonnais, A. Despierres et S. Perrot-Minot

Confortement du littoral à Cap Iopez

Gabon

Le Cap Lopez constitue la pointe la plus avancée dans l'océan Atlantique de l'île Mandji, au Gabon, son actuelle terminaison. Le Cap Lopez se compose de dépôts deltaïques de nature majoritairement sableux, reposant sur une couche très dense, située à plus d'une vingtaine de mètres de profondeur. Les courants maritimes principaux tournent autour du Cap, d'Ouest en Est, faisant transiter les sédiments arrachés à la côte Ouest vers la côte Est. En arrivant dans la baie des Princes, protégés par le Cap, les courants maritimes s'affaiblissent et les sables très fins, de granulométrie très uniforme, se déposent alors le long de la côte Est, qui s'engraisse.

La côte Est est le siège régulier de glissements de talus sous-marins, de plus ou moins grande ampleur (pouvant atteindre plusieurs millions de mètres cubes). Les glissements se produisent le long de pentes très faibles (inférieures à 5°). Les glissements récurrents semblent trouver leur explication dans le fait que les sables présentent localement des densités relatives en place inférieures aux densités critiques. Ils sont, de ce fait, très sensibles aux générations de surpressions interstitielles, et on peut alors parler de « lateral spreading ». En effet, sous l'action de l'engraissement, ou de toute autre sollicitation provoquant des surpressions interstitielles, les sables perdent leur résistance au cisaillement et s'écoulent.



Crédit photo : Total Gabon

Dans ce contexte, TERRASOL est intervenue pour le compte de TOTAL SA et de TOTAL GABON pour conforter le littoral Est, dont l'érosion par glissements successifs menace le terminal pétrolier installé à la pointe du Cap Lopez.

C. Babin, K.V. N'Guyen et M. Blanchet

Shah Deniz phase 2

Azerbaïdjan



Crédit photo : ENTREPOSE Projets

Le projet Shah Deniz phase 2 porte sur l'extension du terminal terrestre existant Sangachal de traitement de gaz et de production d'huile, exploité par BP en grande partie. Le terminal est situé au bord de la mer Caspienne, à 50 kilomètres au sud de Baku, en Azerbaïdjan. La nouvelle raffinerie de gaz et de pétrole sera adjacente à l'existante.

L'extension comprendra notamment un nouveau plateau de production de gaz d'une capacité de 16 000 milliards de m³ par an, incluant deux trains de traitement de gaz supplémentaires et auxiliaires, et nécessitant la construction de sept réservoirs de stockage de produits hydro-carbonatés.

La spécificité du site réside dans la présence de sol « effondrable » sur une épaisseur de 6 à 8 m. Cette couche de surface est constituée majoritairement de grains de sables, liés dans une matrice limono-argileuse. Des composés volcaniques sont également inclus dans cette composition. Cette couche a la particularité de contenir beaucoup de vide et d'être sensible à l'adjonction d'eau. Son humidification provoque son effondrement sur-elle-même avec ou sans apport de charge. A l'inverse, à l'état naturel, cette couche est protégée par une croûte, et présente des caractéristiques mécaniques qui pourraient être qualifiées de bonne qualité.

Lors de la construction de l'extension et de son exploitation, la croûte de protection peut être endommagée et il existe donc un risque d'humidification de la couche superficielle. Des accidents, déjà survenus par le passé sur le terminal existant, peuvent également provoquer l'humidification de cette couche superficielle. Afin de limiter les futurs problèmes de tassements, les réservoirs de stockage seront donc fondés sur pieux reposant sur les couches sous-jacentes.

Dans ce contexte particulier et rare, ENTREPOSE PROJETS SAS a confié à TERRASOL la partie géotechnique et à SETEC TPI la partie structurelle du dimensionnement des fondations des réservoirs de stockage pour les études d'exécution.

C. Babin

Complexe Oil & Gas à Das Island

Abu Dhabi , Emirats Arabes Unis

L'ADNOC est une des plus importantes compagnies pétrolières nationales et une des plus avancées sur les techniques d'analyse sismique et d'optimisation des taux de récupération de ses gisements tant dans l'onshore que dans l'offshore. Sa filiale Abu Dhabi Gas (ADGAS), spécialisée dans le traitement, la commercialisation et la distribution de GPL et GNL, a retenu CEGELEC OIL AND GAS dans le cadre de la construction d'une 8^{ème} turbine de 36 MW de type Frame 6 sur le complexe de l'île de Das, située dans le golfe Persique à environ 110 km de l'Emirat d'Abu Dhabi.

Dans le cadre des études de génie civil, CEGELEC a sollicité TERRASOL pour les études géotechniques d'exécution. TERRASOL est d'abord intervenue sur la définition et la supervision des investigations géotechniques sur site, en se conformant strictement aux procédures offshore en termes de sécurité et de risque. Nous avons ensuite réalisé le dimensionnement des fondations des différents ouvrages de la centrale (turbine, charpente métallique, cheminée, bâtiments, etc), en portant une attention particulière au comportement des fondations profondes sous sollicitations dynamiques.

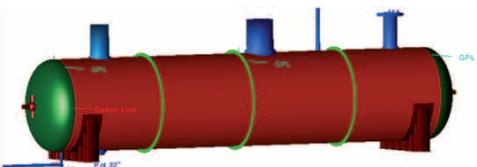
C. Bernuy



Crédit photo : CEGELEC

STIR Bizerte

Tunisie



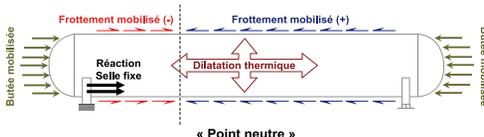
© TANKO SPA

TERRASOL est intervenue récemment à Bizerte en Tunisie pour le compte de la société italienne TANKO SPA qui construit des réservoirs dits « à cigares », un concept novateur pour stocker du gaz GPL.

Destinés à la Société Tunisienne des Industries de Raffinage (STIR), ces cylindres enterrés dans un remblai compacté sont soumis à des changements de température. La mission de TERRASOL : calculer et optimiser les efforts thermiques subis par les réservoirs au niveau des points d'appui fixes (semelle sur pieux) en tenant compte des mécanismes d'interaction réservoir / remblai / massif de fondation. Sans passer par des traitements numériques en trois dimensions, ces interactions ont pu être abordées d'une manière satisfaisante à l'aide du programme Thermopie (que nous avons développé à l'origine pour le dimensionnement de fondations géothermiques) en utilisant comme paramètres d'entrée :

- Le résultat d'un modèle 2D (PLAXIS) représentant une coupe du réservoir et visant à apprécier l'état des contraintes normales autour du réservoir (et donc le frottement latéral mobilisable longitudinalement).
- Le résultat d'un modèle Groupie+ (FOXTA) permettant de quantifier la loi de réponse latérale en tête du massif de fondation.

F. Cuira et B. Simon



Projet Ashegoda

Ethiopie

Dans le cadre d'un contrat EPC, VERGNET s'est vu confié la réalisation de la ferme éolienne « Ashegoda Wind Farm » en Ethiopie, d'une puissance totale de 120 MW pour 84 machines installées.

TERRASOL a réalisé pour le compte de VERGNET les études géotechniques pour les fondations des éoliennes, comprenant notamment le dimensionnement des micropieux d'ancrages pour les haubans des machines GEV HP, qui subissent des efforts de traction variant cycliquement.

Spécifiquement pour ces micropieux, TERRASOL a mis au point une méthode de dimensionnement basée sur la notion de diagramme de stabilité cyclique : cette approche consiste à tracer un domaine de stabilité des sollicitations cycliques dans un plan défini par leur part moyenne en abscisse et leur part cyclique en ordonnée, et à comparer ce domaine, défini à l'aide des propriétés du micropieu et du sol environnant, aux efforts cycliques subis par la fondation.

TERRASOL a également réalisé la définition et le suivi des reconnaissances géotechniques sur site, le suivi et l'interprétation des essais de traction sur les micropieux, ainsi que le suivi d'exécution des fondations des machines.

Les 30 premières éoliennes de la zone Sud ont été mises en service en Décembre 2011 et les 54 éoliennes de la zone Nord ont été mises en service au cours de l'année 2013.

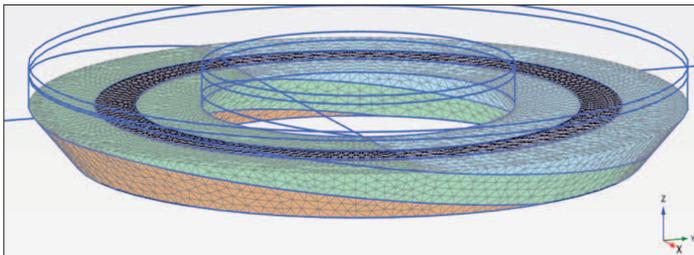


B. Madinier

Crédit photo : Ashegoda Wind Farm Project - VERGNET

EPR UK - Site de Hinkley Point

Royaume-Uni



Dans le cadre de la construction des EPR (Evolutionary Power Reactor) britanniques, TERRASOL a été mandatée pour réaliser le dimensionnement de la galerie de précontrainte sous la centrale du site de Hinkley Point. Cet élément sert à la mise en tension des câbles de l'enceinte interne de l'EPR. Non liée structurellement au radier, la galerie de précontrainte a la forme d'un anneau de 26 mètres de diamètre et de section rectangulaire (3,5 mètres de haut). Un massif de forme torique en gros béton est mis en place autour de la galerie afin de limiter les sollicitations liées aux charges amenées par le radier général de la centrale. La complexité du contexte géologique (pendage général des couches vers le nord, anisotropie des modules de déformation) a justifié le recours à une modélisation

numérique en trois dimensions à l'aide du logiciel PLAXIS (400 000 éléments). Une routine a été spécialement développée sous Visual Basic visant à rendre compatible avec le modèle PLAXIS la distribution de pressions (d'origine statique et/ou sismique) sous le radier issue du modèle structure.

Le modèle a servi ensuite d'outil pour justifier la résistance structurale de la galerie, optimiser la géométrie du gros béton environnant et définir les conditions de contact optimales à garantir entre le gros béton et la galerie.

E. Cazes et F. Cuiras

Laboratoire de Chooz

Ardennes, France

Dans le cadre de l'expérience scientifique « Double Chooz » visant à étudier le comportement des neutrinos, le groupement d'entreprises GUINTOLI - SOLETANCHE BACHY TUNNELS construit actuellement, pour le compte du CEA et du CNRS, sous Maîtrise d'Œuvre EDF, un laboratoire souterrain sur le site de la centrale nucléaire de Chooz (Ardennes). Les études d'exécution ont été confiées au groupement TERRASOL (mandataire) - SETEC TPI.

TERRASOL a réalisé l'étude des soutènements des accès au laboratoire (trémie - longueur 90 m, et descendrière - section 20 m², longueur 145 m), de la caverne souterraine (section 95 m², longueur 30 m) et de son puits vertical, appelé à recevoir l'expérimentation (excavation de profondeur 13 m, diamètre 9.5 m). L'étude des ouvrages, excavés dans des terrains schisto-gréseux, a combiné une approche structurale (analyse de la stabilité des blocs découpés par la fracturation du massif rocheux) et des calculs aux éléments finis en milieu élasto-plastique équivalent (estimation des déformations et sollicitations par des modèles 2D et 3D).

J. Marlinge

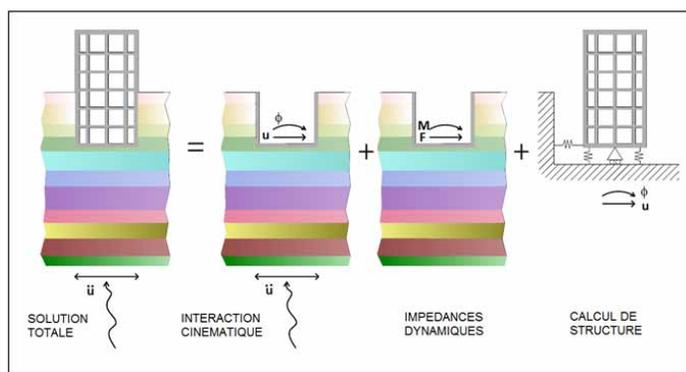


Crédit photo : Cédric Helsly pour Solétanche-Bachy

Projets énergétiques et conception parasismique

Dans les études d'ouvrages géotechniques, la prise en compte du séisme était, jusqu'à un passé récent, principalement abordée par des modèles pseudo-statiques simplifiés permettant de se raccorder aux pratiques usuelles de dimensionnement. Aujourd'hui, l'arrivée des Eurocodes et la prise de conscience récente des enjeux liés au risque sismique, particulièrement pour les projets énergétiques sensibles, font privilégier des modèles de calcul aptes à traiter d'une manière réaliste le comportement dynamique du sol en interaction avec la structure qu'il supporte. Ces modèles, qui exigent de l'ingénieur un regard neuf et éclairé, se heurtent néanmoins à un corpus géotechnique peu développé sur les aspects sismiques et qui privilégie largement les dimensionnements semi-empiriques basés sur le pressiomètre.

C'est dans ce contexte et grâce à la formation pluridisciplinaire de son équipe, que TERRASOL a développé une pratique confirmée en conception parasismique. Celle-ci requiert une parfaite maîtrise des effets d'interaction sol-structure allant bien au-delà de la simplification radicale consistant à supposer la structure parfaitement encastrée à sa base, une simplification dont les résultats peuvent s'avérer parfois exagérément irréalistes. En pratique, cette interaction peut être analysée en représentant la réponse du sol par des fonctions d'impédances dynamiques (exprimant la raideur et l'amortissement du sol selon le contenu fréquentiel propre de la sollicitation) et en considérant, en toute rigueur, le mouvement sismique affecté par la présence de la structure (interaction cinématique). Ce type d'analyse, qui peut être conduit facilement à l'aide d'un modèle de type SASSI, est régulièrement mis en œuvre pour la conception parasismique d'installations énergétiques existantes ou nouvelles, notamment pour le compte d'EDF et AREVA.

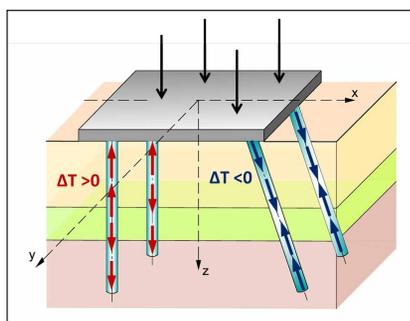


Un autre aspect de la conception parasismique concerne la question de stabilité sismique. Celle-ci ne peut être abordée d'une manière réaliste que si on la relie à la notion des déplacements irréversibles. La rédaction de l'Eurocode 8 a été notamment l'occasion de rappeler ce lien fondamental en définissant l'état limite sismique comme « celui correspondant à l'apparition de déplacements irréversibles (ou permanents) d'une amplitude inacceptable ». Ces déplacements post-séisme peuvent résulter de deux phénomènes :

- Perte momentanée de la résistance au cisaillement durant l'action sismique par un mécanisme de rupture « classique » par glissement (portance, renversement, instabilité d'ensemble...). Dans ce cas, l'évaluation des déplacements irréversibles peut être basée sur une approche simplifiée de type Newmark qu'on peut perfectionner en intégrant les effets d'interaction/sol structure. À titre d'exemple, nous avons mené pour l'ANDRA une étude sur des remblais de couverture de déchets radioactifs.
- Mécanisme de « détérioration » de la résistance des sols en place comme celui de la liquéfaction des sables lâches. L'étude des déformations irréversibles associées peut être menée en complément d'une étude « classique » du risque de liquéfaction basée sur l'évaluation de la sécurité disponible entre l'action sismique appliquée et celle provoquant la liquéfaction du sol étudié. Un exemple d'application est celui des études post-Fukushima menées pour le compte d'EDF et visant à estimer les tassements post-liquéfaction qui résulteraient d'un séisme réévalué sous l'emprise des réservoirs LNG du terminal méthanier de Dunkerque.

F. Cuiru

Thermopie+ : dimensionnement des pieux géothermiques



Les pieux géothermiques connaissent aujourd'hui un essor important en France et à l'étranger. Il s'agit de fondations profondes équipées de pompes à chaleur et utilisées comme source d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. Ces pieux sont ainsi soumis à des variations de température provoquant des tassements ou des soulèvements ainsi que des sollicitations dans la structure. Le dimensionnement de ces pieux nécessite la maîtrise des effets d'interaction thermo-mécaniques entre la structure, les pieux et le sol environnant.

Pour accompagner le développement de cette technique, TERRASOL a développé un nouveau programme de calcul appelé Thermopie+ permettant la modélisation de l'interaction sol-pieu-structure pour un groupe de pieux géothermiques. Ce modèle évalue les sollicitations et les déplacements dus à un cycle de chargement thermo-mécanique. Le principe de modélisation consiste à approcher le comportement axial des pieux par un modèle de type « t-z » généralisé en introduisant les effets thermiques et ceux de déchargement/rechargement dans la définition originelle des lois de mobilisation du frottement

latéral et du terme de pointe. Ces pieux sont ainsi soumis à des variations de température provoquant des tassements ou des soulèvements ainsi que des sollicitations dans la structure.

Le modèle ainsi développé a fait l'objet récemment de nombreuses applications parmi lesquelles le projet de station d'épuration de Sept-Sorts en France. Ces applications ont notamment montré que le recours à une matrice de rigidité pour représenter la réponse de la structure conduit à des résultats bien plus réalistes que ceux que l'on obtiendrait en assimilant la réponse de la structure par une condition d'appui fixe ou par des ressorts indépendants placés en tête de chaque pieu. Le programme Thermopie+ sera intégré à terme à la suite logicielle Foxta v3.

F. Cuiru et C. Borely



Scannez ce QR Code avec votre Smartphone

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 : info@terrasol.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 : lyon@terrasol.com

Terrasol Tunisie

2, rue Mustapha Abdesslem
El Menzech
2037 Tunis
Tunisie

Tel : +276 71 23 63 14
Fax : +256 71 75 32 88
Email : info@terrasol.com.tn

Edition :
Claire DESTER