

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SOLS & FONDATIONS. TOUR ODEON A MONACO. CONSTRUCTION D'UNE ISSUE DE SECOURS DE STATION DE METRO. FONDATIONS D'UN BAC DE STOCKAGE DE FIOUL. MICROPIEUX D'ANCRAGES POUR HAUBANS D'EOLIENNES. LA DEFENSE : FONDATIONS DE LA TOUR MAJUNGA. FONDATIONS DES « TERRASSES DU PORT » A MARSEILLE. REGLEMENTATION SISMIQUE ET RENFORCEMENT DE SOL. PAROI DE SOUTÈNEMENT REALISEE EN DEEP SOIL MIXING.

N° 889 JUIN 2012



TOUR D2 –
LA DÉFENSE (PARIS)
© CÉDRIC HELSLY POUR
SOLETANCHE BACHY

LES TRAVAUX
PUBRICS
FÉDÉRATION
NATIONALE



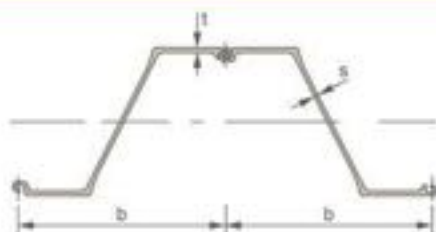
ArcelorMittal

Palplanches | 2012



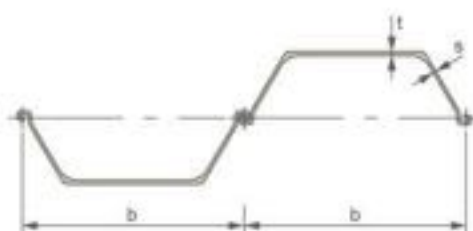
Belval (LU)

Profils Z



31 Profils			
Masse	de 66,1	à 157,7	kg/m
Épaisseur t	de 8,5	à 20,0	mm
Épaisseur s	de 8,5	à 16,0	mm
Largeur b	de 580	à 770	mm
W_x	de 1 245	à 5 015	cm ³ /m

Profils U



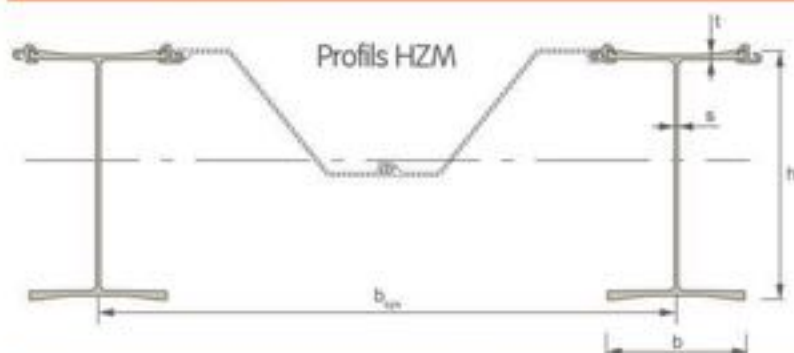
22 Profils			
Masse	de 52,8	à 114,1	kg/m
Épaisseur t	de 8,0	à 19,5	mm
Épaisseur s	de 8,0	à 11,0	mm
Largeur b	de 600	à 750	mm
W_x	de 845	à 3 200	cm ³ /m

Profils AS



5 Profils			
Masse	de 63,8	à 77,1	kg/m
Épaisseur t	de 9,5	à 12,7	mm
Largeur b		500	mm
F_{max}	de 3 000	à 5 500	kN/m

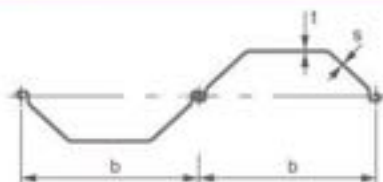
Differdange (LU)



11 Profils			
Masse	de 261,8	à 999,6	kg/m
Épaisseur t	de 18,9	à 37,0	mm
Épaisseur s	de 13,0	à 22,0	mm
Hauteur h	de 831	à 1 087	mm
Largeur b	de 454	à 460	mm
W_x	de 4 815	à 46 500	cm ³ /m

Dabrowa (PL)

Profils U



10 Profils			
Masse	de 41,9	à 81,1	kg/m
Épaisseur t	de 6,0	à 15,0	mm
Épaisseur s	de 6,0	à 10,0	mm
Largeur b	de 400	à 600	mm
W_x	de 625	à 1 920	cm ³ /m

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée
Rédactrice en chef
Mona Mottot

3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fntp.fr

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction Grands Projets), Jean-Bernard Datry (Setec TPI), Stéphane Monleau (Solétanche Bachy), Louis Marracci (Bouygues), Jacques Robert (Arcadis ESG), Anne-Sophie Royer (Vinci Construction Grands Projets), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel), Mona Mottot (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction

Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

Com et Com

Service Abonnement TRAVAUX

Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
Email : revue-travaux@cometcom.fr

France (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité

Emmanuelle Hammaoui

9, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41
Email : ehammaoui@fntp.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Réalisation et impression

Com'1 évidence

Immeuble Louis Vuitton

101, avenue des Champs-Élysées

75008 PARIS

Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50

Email : contact@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux). Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

RÉFLEXIONS SUR LES NOUVELLES NORMES D'APPLICATION EN GÉOTECHNIQUE



© DR

L'établissement des normes d'application de l'Eurocode 7 a mobilisé de nombreuses énergies et continue à en mobiliser. Les normes sur les soutènements en sols renforcés et sur les écrans de soutènement sont en vigueur depuis plus de 2 ans ; la norme relative aux fondations profondes est en cours de publication et celle relative aux fondations superficielles va l'être ; la norme sur les ouvrages de soutènement poids est en chantier et celle qui traitera des ouvrages en terres suivra.

L'expérience de l'animation de la CNJOG, Commission de Normalisation de la Justification des Ouvrages Géotechniques, qui établit les normes précitées, appelle l'expression de quelques remarques :

- L'État a réduit progressivement son engagement dans l'établissement de données expérimentales indispensables pour l'établissement de règles de justifications, mais la Profession peine à prendre le relais ; si les Projets Nationaux ont ouvert la voie à d'importants progrès permettant le recours à de nouvelles technologies par la voie de Recommandations, de grands domaines restent lacunaires, et **il est indispensable que la Profession se mobilise en vue d'une évolution raisonnée des normes qui s'appliquent aux technologies courantes ;**

- La responsabilité de l'obtention d'un consensus limite pour l'animateur l'expression de ses opinions personnelles ; qu'il me soit permis de regretter ici

un dogme attaché à la formalisation actuelle de la méthode des états limites : les justifications de résistance relèvent de l'études d'états limites ultimes, alors même qu'une structure en forte interaction avec le sol est susceptible de subir dans les conditions de service des efforts plus grands ! Peut-être cette anomalie est-elle à mettre sur le compte du fait que les Ingénieurs de Structures considèrent pour la plupart que les effets du second ordre sont systématiquement défavorables... alors même que les adaptations plastiques de structures ductiles réduisent au contraire le plus souvent les efforts dans le domaine de l'interaction sol-structure ;

- **La force de l'habitude crédibilise des pratiques discutables ;** assimiler le sol à des ressorts juxtaposés (ou coefficients de réaction), même avec le vocabulaire de modèles élasto-plastiques, n'a pas de réalité physique et, contrairement à une opinion répandue, peut conduire à des erreurs grossières d'évaluation des efforts (typiquement, au centre d'un bassin circulaire, il est courant de trouver un moment de flexion d'ordre de grandeur vraisemblable, mais de signe opposé au moment réel !) ; si on est alors sauvé par des règles de ductilité des structures, cela n'autorise pas à s'opposer à l'utilisation de méthodes de calcul certes moins éprouvées, telles que la méthode des éléments finis (codes dédiés à la géotechnique), mais qui par les possibilités de mieux faire qu'elles offrent méritent d'une part qu'on puisse les utiliser et d'autre part qu'on consacre quelques efforts à fiabiliser leur exploitation au lieu d'essayer de convaincre que les moyens courants d'aujourd'hui sont excellents...

- Certaines procédures de validation de technologies (cahiers des charges et autres avis techniques) méritent d'être revisités : alors que des discussions sans fin président à l'introduction de nuances de quelques pour cent sur ce que l'on accepte pour une technologie éprouvée, l'avis d'un seul Expert suffit pour accepter une augmentation considérable des performances sur la base d'un aménagement technologique qu'on peut espérer efficace...

Il reste du pain sur la planche pour les techniciens !

PIERRE VEZELE
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE
EIFFAGE CONSTRUCTION

SOLS & FON DATIONS

LES FONDATIONS DES - TERRASSES DU PORT - À MARSEILLE © CÉDRIC HELSY POUR SOLETOUCHE BACHY



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ

18 LE PROCÉDÉ ORTHODALLE® :
UNE INNOVATION VALIDÉE
SUR OUVRAGE DE RÉFÉRENCE

19 DES FONDATIONS SOLIDES
POUR LE FUTUR SIÈGE DE CARREFOUR



20

ENTRETIEN AVEC
PHILIPPE MESTAT

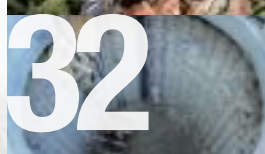
2013, ANNÉE DE LA MÉCANIQUE
DES SOLS EN FRANCE

22 LA RÉVISION DE LA NORME NFP 94-500
SUR LES MISSIONS D'INGÉNIEURIE
GÉOTECHNIQUE EST EN COURS



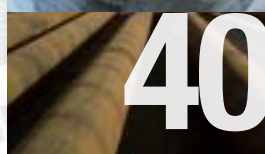
26

LA TOUR ODÉON
un nouveau défi à Monaco



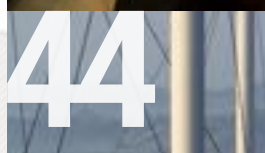
32

CONSTRUCTION D'UNE
ISSUE DE SECOURS
à la station de métro Capitole
à Toulouse



40

FONDATIONS DU BAC DE
STOCKAGE DE FIOUL N°9
de la centrale thermique
de Cordemais (44)



44

MICROPIEUX
D'ANCRAGES POUR
HAUBANS D'ÉOLIENNES
en Éthiopie



50

LES FONDATIONS
DE LA TOUR MAJUNGA
à La Défense



60

LES FONDATIONS DES
« TERRASSES DU PORT »
à Marseille



66

RÉGLEMENTATION
SISMIQUE ET RENFOR-
CEMENT DE SOL
Utilisation des colonnes
bi-modules profondes.



72

UNE PAROI DE SOU-
TÈNEMENT RÉALISÉE
EN DEEP SOIL MIXING
en région Parisienne





L'ALBUM

PARIS QUAI DE LA BOURDONNAIS.

L'OBJECTIF, de cette réhabilitation portuaire, réalisée pour le compte du Port Autonome de Paris, est de permettre le déchargement et le stockage temporaire de marchandises acheminées par la voie fluviale et destinées à approvisionner certains grands magasins parisiens.

Les travaux sont réalisés par Soletanche Bachy Pieux, Jean Lefebvre et EMCC.

Pour Soletanche Bachy Pieux, il s'agit de réaliser des pieux STARSOL sous l'estacade de déchargement des péniches, ainsi que des inclusions rigides REFSOL pour le confortement du terre-plein à l'arrière du quai.



© CEDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

LA DIRECTIVE SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ARRIVE EN PHASE FINALE

Réduire de 20% les consommations d'énergie en 2020 pourrait devenir une obligation pour les pays de l'Union européenne et non plus un objectif sans contrainte. Le projet d'une directive sur l'efficacité énergétique a été présentée au Conseil des ministres européens de l'énergie en juin.



L'isolation du bâti reste une mesure phare pour économiser l'énergie. Ici, isolant projeté dans un bâtiment communal à Payns (Aube).

Une baisse de 9% des consommations d'énergie en 2020 par rapport à 2007, c'est ce vers quoi se dirigent les pays de l'Union européenne. C'est insuffisant. Le paquet européen énergie climat de 2007 visait 20%. Jusqu'à présent, cet objectif n'était pas contraignant contrairement aux deux autres du paquet, sur l'émission des gaz à effet de serre et la production d'énergies renouvelables⁽¹⁾. Toutefois, il y a de grandes chances que la liberté des États en la matière s'amenuise. En effet, le projet de directive sur l'efficacité énergétique rédigé par la Commission européenne est en phase de se concrétiser avec sa mise à l'ordre du jour du Conseil européen des ministres de l'énergie en juin, étape qui devrait aboutir à une décision. Le projet de directive chiffre à 368 millions de tonnes équivalent pétrole l'économie à réaliser par rapport à la consommation de 2007, soit un total de 1 474 millions de Tep consommés en 2020 au lieu de 1 842 si l'UE n'avait fait aucun effort. Le texte obligerait aussi les grandes entreprises énergétiques à investir une part de leur

chiffre d'affaires annuel pour que leurs clients économisent l'énergie. Autrement dit, la baisse de vente de kilowattheures pourrait être compensée par une offre de service.

Il propose que les bâtiments publics montrent l'exemple. Reste à déterminer si le terme "publics" inclut le patrimoine des collectivités locales.

→ Rôle central des économies d'énergie

La directive contribuerait à la relance économique notamment celle du secteur de la rénovation des bâtiments, selon Claude Turmes, rapporteur du projet. Le député luxembourgeois au Parlement européen rappelle que les mesures pour limiter le réchauffement climatique à 2°C reposent à plus de 50% sur les économies d'énergie (chiffre de l'Agence internationale de l'énergie), ce qui se traduit par des maisons mieux isolées (protégées du froid et du soleil), moins de voitures et plus sobres, et des process industriels plus efficaces. ■

⁽¹⁾ Voir articles d'Hervé Kempf, Le Monde 29 février et 6 juin 2012.

PERFORMANCE :

LE RÔLE INCONTOURNABLE DES OCCUPANTS

Les occupants d'un bâtiment ne peuvent pas s'empêcher d'agir sur leur ambiance thermique. C'est ce que souligne l'enquête sur les performances énergétiques dans le tertiaire du Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (Credoc).

Selon cette enquête menée dans 200 établissements, les occupants d'un bâtiment géré par des automatismes n'apprécient pas de « ne devoir toucher à rien ». Ils se sentent contraints par des systèmes qui, semble-t-il, ne répondent pas entièrement à leurs besoins ou à leur rythme de travail. Par exemple, ils ont tendance à vouloir ouvrir les fenêtres, peut-être par manque d'information sur l'effet négatif que ce geste a sur les performances thermiques. Le Credoc recommande donc de concevoir des systèmes qui prennent mieux en compte les attentes des usagers et de privilégier les dispositifs qui ne sont pas fermés à une intervention de l'occupant.

L'étude révèle également que plus l'entreprise est grande, plus l'investissement dans la maîtrise des consommations d'énergie est élevé. Ceux qui réussissent le mieux à baisser leur facture, sont ceux qui s'engagent officiellement en ce sens, que ce soit pour leur image ou pour réduire leurs charges. En revanche, ceux qui délèguent ce poste au gestionnaire d'immeubles ont moins de chances de bénéficier d'un site économe.

SCHÉMAS RÉGIONAUX DU CLIMAT, DE L'AIR ET DE L'ÉNERGIE

Les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) ont été voulus par le Grenelle de l'environnement. Ils sont définis dans le décret n°2011-678 du 16 juin 2011, en application de la loi dite Grenelle 1 de programmation (n°2009-967) et de la loi Grenelle 2 (n°2010-788) portant engagement national pour l'environnement⁽¹⁾. Ces schémas reprennent dans un seul document leurs prédécesseurs en matière d'éolien, d'énergie et de pollution atmosphérique.

Un SRCAE comporte un état des lieux de la région dans ces différents domaines et des politiques régionales avec l'évolution à 2020 et 2050. Il présente un inventaire des émissions de gaz à effet de serre et de polluants de l'air, et les prévisions, dresse le bilan énergétique régional avec la production d'énergies renouvelables et la récupération, identifie les territoires à risque vis-à-vis du changement climatique.

À partir de cette première partie, la Région pourra définir les orientations de sa politique en prenant en compte les engagements internationaux de la France dont les décisions de l'Union européenne (voire article ci-contre). À noter qu'une annexe sera dédiée à l'énergie éolienne avec les sites potentiels et les contraintes à prendre en compte, par exemple les espaces naturels à protéger.

⁽¹⁾ Sur les schémas, voir Gazette des communes, fiche juridique pratique, 6 février 2012.

DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ PLUS NOMBREUX



Aménagement de protection de la faune par ASF.

La biodiversité a besoin, encore et toujours, d'indicateurs pour la saisir, informer différents publics de son état et suivre ce dernier dans le temps. Les premiers ont été construits à partir de 2006 en lien avec la Stratégie nationale pour la biodiversité (20 objectifs, 2004). De nouveaux voient le jour avec le Grenelle de l'environnement qui a prévu dans son article 79 la création d'un Observatoire national de la bio-

diversité (ONB). Les stratégies au niveau mondial (Nagoya), européen ou national de 2011 conduisent aussi à créer de nouveaux indicateurs en plus de ceux qui existent déjà, tâche qui incombe à l'ONB. Certains ont été proposés en mai 2012 afin de combler les manques. Des sujets importants restent sans indicateurs et certains indicateurs seraient utiles mais les données manquent. Ces outils de connaissance et de suivi se sont avérés nécessaires pour stopper ou ralentir la perte de biodiversité, objectif de 2010 mais non atteint. Une des difficultés était de mesurer les progrès ou les pertes du fait de l'absence de suivi complet et continu de la biodiversité, d'un état de référence, et de tableaux servant à réorienter les actions. La société a besoin de repères fiables pour prendre des décisions et qu'un débat démocratique puisse s'instaurer. Les indicateurs devront donc être adaptés aux approches des différents publics intéressés. Ils sont produits par l'Observatoire qui s'appuie sur le Système d'information sur la nature et les paysages (SINP) et les porte à la connaissance des acteurs chargés de l'évaluation, du reporting national et international, de l'expertise, de la communication et de la recherche. Un site internet - <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr> - donne accès à l'information par plusieurs entrées dont une spécifique à l'Outre-mer.

cratique puisse s'instaurer. Les indicateurs devront donc être adaptés aux approches des différents publics intéressés. Ils sont produits par l'Observatoire qui s'appuie sur le Système d'information sur la nature et les paysages (SINP) et les porte à la connaissance des acteurs chargés de l'évaluation, du reporting national et international, de l'expertise, de la communication et de la recherche. Un site internet - <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr> - donne accès à l'information par plusieurs entrées dont une spécifique à l'Outre-mer.

Pour en savoir plus : rubrique Construction, urbanisme, aménagement et ressources naturelles du ministère de l'Écologie (www.developpement-durable.gouv.fr). ■

IMPLICATION DES ACTEURS LOCAUX DANS LA GESTION DU TRAIT DE CÔTE

Éviter l'érosion des côtes passe par des choix d'urbanisme et d'aménagement adaptés. Près du quart du littoral recule en France, en métropole. Le ministère de l'Écologie commence la mise en œuvre de sa stratégie visant à réduire ce phénomène. Son premier plan d'action (2012-2015) comporte quatre axes. Il implique les acteurs locaux privés et publics, et reprecise le rôle de l'État. Tout d'abord, il faut mieux connaître les côtes et identifier celles à risque d'érosion plus élevé. Un réseau d'observation et de suivi de l'évolution

du bord de mer sera donc créé en s'appuyant sur les partenaires locaux. Une cartographie de l'érosion côtière mettant en évidence les territoires les plus exposés devra être dessinée en 2013. Les stratégies locales sur les risques d'érosion devront comprendre des mesures cohérentes d'urbanisme, de préservation des espaces naturels et de prévention. Les outils existants seront mieux exploités. L'érosion côtière sera explicitement prise en compte dans les plans locaux d'urbanisme et les schémas de cohérence territoriale. Les modalités de gestion du domaine public maritime évolueront. En particulier, les autorisations d'occupation seront délivrées en tenant compte de l'impact des aménagements sur le trait de côte. Les populations de ces territoires seront sensibilisées pour acquérir une véritable culture du risque. Les acteurs locaux devront se résoudre à envisager de relocaliser certaines activités et biens. Le ministère lance un appel à projets pour des opérations pilotes dans ce domaine. Enfin, la répartition du financement de la gestion du trait de côte entre État et collectivités locales sera reprecisé.

Plus d'informations sur www.developpement-durable.gouv.fr, rubrique Mer et littoral. ■

REPORT DES JST DU CETMEF

Les Journées scientifiques et techniques du Centre d'études techniques maritimes et fluviales (Cetmef), initialement programmées du 26 au 28 juin à Compiègne (UTC), ont été reportées au dernier trimestre 2012.

www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr

GRAND PRIX DE L'URBANISME

Le Grand prix de l'urbanisme a été attribué à François Grether. Le jury qui le décerne est présidé par la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature. L'architecte urbaniste est distingué pour son travail sur la première phase de la Zac de Lyon Confluence et sur la Zac de Clichy Batignolles à Paris. Il vient de remporter le projet de réaménagement des berges de la Maine à Angers (Maine-et-Loire). Le prix lui sera remis officiellement en décembre par Cécile Duflot, ministre de l'Égalité des territoires et du Logement. On lui doit des aménagements en cours de concrétisation notamment à Nantes (Saint-Joseph de Porterie), à Amiens (renouvellement urbain des quartiers nord) et à Euralille (quartier du Romarin).

ENTREPRISE DU BOIS, ENTREPRISE GÉNÉRALE

L'Union charpente-menuiserie-parquet se félicite de l'augmentation du chiffre d'affaires des menuisiers (+54%) et des charpentiers (+23%) entre 2005 et 2009. Cette percée les pousse sur le devant de la scène avec de plus en plus souvent des rôles d'entreprise générale ou de mandataire commun dans les appels d'offres. Une quinzaine d'entreprises vont donc se former pour y répondre.

PRÈS DE 1 000 COMMUNES LITTORALES

- 977 communes sont riveraines de la mer ou d'un lac dont 92 en Outre-mer et 885 en métropole.
- 5 500 km de côtes en métropole : 24% en recul par l'érosion, 44% stables.
- Plus de 6 millions de résidents d'une commune littorale métropolitaine.



Falaises du Cap Fréhel.

INFRASTRUCTURES : ÉMISSION D'OBLIGATIONS

L'Union européenne envisage de réserver 230 millions d'euros sur son budget pour inciter le privé à investir dans des projets d'infrastructures transeuropéennes. Les gouvernements européens et le Parlement se sont mis d'accord pour cette opération qui doit encore être votée au Parlement en juillet.

Considérée comme une phase pilote de l'émission d'obligations européennes de financement de projets sur 2012-2013, elle pourrait soutenir plusieurs projets d'infrastructures de transport, d'énergie ou de communication. Les 230 millions d'euros devraient catalyser jusqu'à 4,5 milliards d'euros en provenance du privé.

OBSERVATOIRE DES SIGNES DE QUALITÉ DU BÂTIMENT



© WILLIAM KORTGAZ

L'entrepôt GRTgaz près de Châteauroux (Indre) a obtenu un très bon niveau dans la certification HQE et le label BBC.

Le Plan Bâtiment du Grenelle de l'environnement met en place un observatoire des signes de qualité et a demandé à l'Agence qualité construction (AQC) de l'animer et de le gérer. Par signes de qualité dans le bâtiment, le Plan entend les appellations, labels, qualifications, certifications, etc. qui accroissent le capital de confiance des clients envers les professionnels,

les constructions ou les produits utilisés. Certains attestent des moyens mis en œuvre, d'autres du résultat obtenu, ou des deux.

Tous les signes ne se valent pas. Leur crédibilité dépend des conditions dans lesquelles ils sont attribués, si l'organisme qui les accorde est accrédité par le Comité français d'accréditation ou non.

La conformité à un signe est attestée par le processus de vérification systématique pour ce signe mais qui ne sera pas le même pour un autre. L'Agence qualité construction a été choisie pour son expérience en la matière. Elle décrypte ces reconnaissances depuis 2009, notamment en ce qui concerne l'efficacité énergétique et la réponse au développement durable. Elle a déjà recensé plus de mille "labels" différents, la plupart relatifs aux acteurs. Elle poursuit ce travail de compilation et d'explicitation des contenus avec, parmi ses orientations, la volonté de privilégier « les certifications qui attestent du respect des caractéristiques de l'ouvrage et pas seulement des moyens et de l'organisation mis en œuvre dans les relations entre consommateurs et professionnels. » Elle recommande que les référentiels de ces certifications « utilisent des indicateurs issus d'un corps reconnu au niveau national voire international. » ■



Membre du Réseau Congés Intermédiaires BT

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Association agréée par arrêté ministériel du 6 avril 1937 - Déclarée en Préfecture sous le n° 174 662

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :


- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.


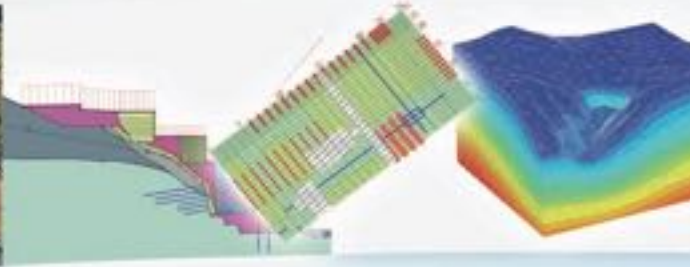
La CNETP regroupe **7 200 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **277 000 salariés**.

Nos coordonnées :

- **Par courrier :**
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** www.cnetp.fr
- **Par fax :** 01.70.38.08.00
- **Par téléphone :**
 - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
 - pour les salariés : 01.70.38.07.77
- **Serveur vocal (24h/24) :** 01.70.38.09.00




Bureau d'Ingénieurs-Conseil en Géotechnique





Ingénierie

- » Conception
- » Maîtrise d'œuvre
- » Expertise

Logiciels


- » Développement
- » Assistance technique
- » Formation



Paris
Tél : +33 (0)1 82 51 52 00
Fax : +33 (0)1 82 51 52 99
Email : info@terrasol.com

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

WWW.TERRASOL.COM

Une société du groupe


RÉSEAUX D'EAU ET D'ASSAINISSEMENT : RENOUVELLEMENT INSUFFISANT

Le Syndicat des tubes et raccords en polyéthylène (STR-PE) organise un séminaire technique sur l'assainissement le 2 octobre à la Maison des polytechniciens (Paris VII^e). Pour cette organisation qui rassemble une dizaine d'entreprises des tubes en polyoléfines (polyéthylène haute densité et polypropylène), « la gestion de l'eau est sans conteste la problématique incontournable du XXI^e siècle, le renouvellement des réseaux d'eau et d'assainissement et leur développement jouent un rôle déterminant dans la maîtrise d'une ressource de plus en plus rare et la gestion des coûts. »

Il estime le taux de fuite moyen à 22% et jusqu'à 40% localement, ce qui représenterait 1,3 milliard de mètres cubes d'eau perdus chaque année, soit 120 litres par jour et par abonné qui n'arriveraient pas à destination. Le réseau d'eau potable mesure 906 000 km et ceux d'eaux pluviales et d'eaux usées, 395 000 km. La moitié date d'avant 1972.

Chaque année, 1,5 milliard d'euros est investi pour renouveler 5 041 km. Le STR-PE souligne que la famille des polyoléfines est sous-exploitée en France par rapport à d'autres pays européens. Pourtant, la pose de tubes et de raccords dans ces matières plastiques est plus rapide que celle de canalisations en fonte voire en grès pour l'assainissement, du fait de leur légèreté. Elles seraient insensibles à

la corrosion, résistantes à la pression et les soudures, particulièrement hermétiques. Le polyéthylène s'adapte aux mouvements du sol, selon l'organisation professionnelle. En assainissement, les tubes en polypropylène supportent une grande amplitude de température. Rappelons que ces matériaux sont recyclables et réutilisés dans de nouvelles fabrications ■



Canalisations sur un nouveau pont à Brognard (Doubs).

ACCORD VNF-AGENCES DE L'EAU

Voies navigables de France (VNF) et les Agences de l'eau conjuguent leurs efforts pour l'amélioration des milieux aquatiques tout en développant le transport fluvial. L'accord qu'elles ont signé fin mai couvre la période 2013-2018 et sera décliné en convention annuelle ou pluriannuelle par agence. Les partenaires collaboreront à travers des programmes opérationnels communs.

► Instrumentation géotechnique et hydrogéologique

- Auscultation en tunnels et galeries
- Surveillance automatisée d'ouvrages et de bâtiments
- Essais in-situ en forages de reconnaissance: dilatomètre, fracturation hydraulique, caractérisation hydrogéologique

Principales références:

- Centre de recherche Andra Meuse / Haute-Marne
- LTF, Brenner, Descenderie Saint-Martin la Porte
- AlpTransit: tunnels du Lötschberg et du Saint-Gothard
- Centrale de pompage-turbinage de Nant de Drance
- Métros d'Amsterdam, Copenhague, Athènes, Naples
- Tramway du Havre, gare de Leipzig
- Tunnel Croix Rousse
- Centrales Nucléaires du Bugey, Hinkley Point

Solexperts France Sarl
54500 Vandœuvre-lès-Nancy
Tel. : 33 (0) 3 83 94 04 55

Fax: 33 (0) 3 83 94 03 58
info@solexperts.fr
www.solexperts.com



Descenderie Saint-Martin la Porte (source: Razel, Biffinger Berger)

SERVICES EUROVIA EN ANGLETERRE

Les services représentent 70% de l'activité d'Eurovia au Royaume-Uni. Récemment, la filiale de Vinci a remporté des contrats de maintenance d'infrastructures routières dans cinq comtés anglais. Ces contrats ont des durées initiales de cinq à dix ans pour un montant de 1,7 milliard d'euros. Ils couvrent tous les domaines de la maintenance routière y compris les ouvrages d'art et l'éclairage public ainsi que du conseil en gestion de trafic, conception de chaussée, gestion de flotte de véhicules et gestion déléguée de budget (dans le Cheshire East et l'Essex).

GRTGAZ RENFORCE SON RÉSEAU DEPUIS DUNKERQUE

Le nouveau terminal méthanier de Dunkerque, dont la mise en service est prévue en 2015, doit être raccordé au réseau de distribution de gaz. C'est pourquoi GRTgaz prévoit de créer une jonction de 17 km vers son réseau depuis Loon-Plage (Port de Dunkerque) jusqu'à Pitgam, dans le Nord, puis de renforcer son réseau existant en le doublant sur 174 km de Pitgam à Cuvilly (Oise). Ce nouveau tronçon, baptisé Artère des Hauts de France II (le I correspondant à l'existant), améliore la desserte en gaz de grandes agglomérations et de clients industriels. Il contribue à la sécurisation des approvisionnements énergétiques et à leur diversification. Il garantit la fluidité des flux sur un axe Nord-Est et Nord-Sud en France, et apporte des capacités supplémentaires d'interconnexion avec les réseaux belges et allemands. La filiale de GDF Suez (75%) et de la Société d'infrastructures gazières (25%) a commencé en mars les travaux de



Les tubes sont préparés en bordure du tracé avant que la tranchée ne soit creusée.

Pitgam à Nédon (Pas-de-Calais) soit 51 km, ce qui lui a valu une subvention au titre du Plan énergétique européen

de relance. L'entreprise Bonatti SpA a été retenue pour les réaliser. Deux franchissements de la voie ferrée SNCF ont mobilisé un microtunnelier. L'Artère des Hauts de France II s'inscrit dans une liaison qui se poursuit au-delà de Cuvilly jusqu'à Voisines (Haute-Marne), soit 300 km de plus. L'ensemble de près de 500 km forme l'Arc de Dierrey et accroît la capacité de distribution vers le centre et le Sud-Est de la France. Le coût de cet arc est estimé à 1,1 milliard d'euros dont un peu moins de la moitié pour l'Artère des Hauts de France II. Les mesures en faveur de l'environnement atteignent 44 millions d'euros. Le chantier respecte autant que faire se peut, les activités qu'il traverse. Par exemple, les tubes sont d'abord déposés le long du tracé, soudés et revêtus. Une fois un linéaire prêt, la tranchée est creusée et plusieurs engins le déposent simultanément au fond de la tranchée. Les terres sont remises dans l'ordre de leur prélèvement. ■

SÉCURISATION DE DEUX BIEFS SUR LE CANAL MARNE-RHIN

Voies navigables de France a confié à la société GTS du groupe NGE la stabilisation et l'étanchement de deux biefs sur le Canal de la Marne au Rhin. Ce chantier court sur 550 ml, en Moselle, à hauteur de la commune de Lutzelbourg, proche de Sarrebourg, et de celle de Buhl-Lorraine.

Le secteur Travaux fluviaux et maritimes de l'entreprise spécialisée en géotechnique notamment sur voies d'eau, a mis en œuvre 380 tonnes de palplanches métalliques par fonçage et battage (3 100 m²) depuis la voie d'eau avec remblaiement à l'arrière des rideaux.

Le chantier a duré de janvier à avril. Le canal qui relie la Marne au Rhin en passant par le sud du département de la Moselle a été construit au milieu du XIX^e siècle.

Il permet de relier le bassin de la Seine au grand fleuve rhénan.

Le canal de 312 km comprend de nombreuses écluses et tunnels. ■



380 tonnes de palplanches ont été implantées sur 550 ml du canal Marne-Rhin.

© GTS-TFM

BOUYGUES REPREND THOMAS VALE

Bouygues Construction élargit son implantation en Grande-Bretagne avec l'accord signé en avril en vue d'acquiescer l'entreprise Thomas Vale (centre de l'Angleterre). La reprise de la totalité du capital de la société devra être entérinée par les autorités de la concurrence de la Commission européenne. Thomas Vale, créée en 1869, emploie 700 personnes. Elle a des partenariats avec le public en logement et en réhabilitation, et construit ou rénove des petits commerces, bureaux et équipements de loisirs.

Créateur de Solutions

- > Parois moulées
- > Soutènements de grande hauteur
- > Pieux de fondations, micropieux
- > Forages, injections, travaux en carrière

- > Clous et tirants d'ancrage
- > Travaux de reprise en sous-œuvre
- > Fondations de pylônes et éoliennes
- > Sondages de reconnaissance

Siège social : ZAC du Petit le Roy - 5 rue Ernest Flammarion - 94550 Chevilly Larue

Agence Sud : Le Ponant Littoral - 7 rue André Roussin - 13016 Marseille

Agence Nord : 1 rue E. Imbert de la Phalecque - BP 347 - 59463 Lomme Cedex

Agence Ouest : Quai du Pôt Wilson - BP 80212 - 44202 Nantes Cedex

Rhône-Alpes : 5 rue de Fos-sur-Mer - BP 7089 - 69348 Lyon Cedex 07

Tél : 01 49 61 48 00

Tél : 04 91 03 65 64

Tél : 03 20 00 11 11

Tél : 02 40 35 62 70

Tél : 04 37 65 45 24

bottelfondations.vinci-construction.fr

www.botte-fondations.fr

FAYAT CONSTRUIT QUATRE COL- LÈGES EN PPP

Fayat a remporté l'appel d'offres pour la construction de quatre collèges en partenariat public privé, en Seine-Saint-Denis. Le Conseil général a choisi le groupe comme mandataire avec Cofely. Trois entreprises du groupe Fayat sont impliquées : Urbaine de travaux, Cari et Nord France construction. Montant de l'opération : plus de 100 millions d'euros.

Le contrat va de la conception à la maintenance des collèges et inclut trois cuisines de production, deux gymnases et une passerelle. Au total, le département recourt à des PPP pour douze collèges qu'il doit construire ou reconstruire.

VINCI ÉNERGIES EN ALLEMAGNE ET EUROPE CENTRALE

Vinci Énergies a signé un accord pour le rachat de la division énergie du groupe suisse Alpiq. Cette structure regroupe des activités d'ingénierie et de travaux dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie et de télécommunications en Allemagne et en Europe centrale avec des filiales. Elle emploie 3 000 salariés. Si l'accord est validé par les autorités de la concurrence, il prend effet au second semestre 2012.

RÉFECTION DU DÔME DE VAUX-LE-VICOMTE



À lieu d'exception, échafaudage d'exception. La réfection de la toiture du dôme du château de Vaux-le-Vicomte (Île-de-France) a eu lieu sans que l'échafaudage ne touche

les ardoises clouées. La société UTB, couvreur, a ainsi pu travailler sans avoir à le déplacer et sans être gênée par lui. Layher a mis un mois à trouver la bonne solution et deux mois à l'installer.

La structure comprend trois parties. Une passerelle d'accès de 20 m de portée franchit les douves du château et mène à une des deux tours d'échafaudage. Celles-ci sont installées de pied et ancrées sur la façade jusqu'à la corniche à 20 m de haut. Ensuite, les deux tours se rejoignent grâce à plusieurs caissons pour recouvrir le corps central. La structure qui monte jusqu'à 30 m devient alors autostable. Elle prend appui sur des points hors zone de travail. Des cravatages assurent la tenue au vent. Des planchers ont été disposés tous les deux mètres en épousant la courbe du dôme. L'ensemble est protégé des intempéries par un parapluie géant. Les travaux de couverture devaient se terminer en juin. L'échafaudage exceptionnel sera alors démonté. ■

REIMS RESTAURE SES HALLES EN BÉTON

Les halles du Boulingrin à Reims (Marne) seront rendues au public à l'occasion des journées du patrimoine, le 14 septembre. Un marché s'y tiendra de nouveau trois fois par semaine. Construites en 1929 par Eugène Freyssinet d'après une conception d'Émile Maigrot, elles adoptent les dimensions de la célèbre cathédrale de la ville - 100 m de long, 50 m de large et 19 m de haut - mais en version XX^e siècle avec une voûte en béton armé de 7 cm d'épaisseur. De grandes verrières en verre jaune l'éclairent aux extrémités et en bandeau à l'intérieur. Les entrées sont surmontées d'un lettrage style Art Déco. Les faïences viennent des Céramiques du Beaujolais qui les a refaites aujourd'hui.



Ce grand marché, fermé depuis 1988 et menacé de destruction, a été sauvé grâce à son classement au titre des monuments historiques. Les travaux ont duré deux ans et demi et impliqué 47 entreprises. La ville de Reims a confié la maîtrise d'œuvre du projet

à François Chatillon, architecte en chef des monuments historiques. La rénovation comprend, outre la mise aux normes des halles en tant que marché et établissement recevant du public, l'ajout de tourelles de ventilation et de désenfumage, un second escalier et des ascenseurs. La maîtrise de l'hygrométrie s'avérerait indispensable. Les murs en sous-sol bénéficient d'une protection cathodique et le reste des parois en béton ont été revêtues d'un inhibiteur de corrosion. Les armatures des voûtains et tympans sont en béton fibré ultra haute performance. Ces halles qui longent la rue du Temple s'inscrivent dans un quartier en pleine rénovation avec, en particulier, le futur musée des Beaux-arts. ■

ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE À LA FUTURE MAISON DE LA CULTURE DE BAKOU



Étanchéité en toiture de la Maison de la culture de Bakou, en chantier.

La forme serpentine de la future Maison de la culture de Bakou (Azerbaïdjan) a entraîné la réalisation d'une étanchéité complexe en toiture. Flag en a fourni les matériaux : un pare-vapeur Soprapap Stick Alu, complexe aluminium/polyester non tissé et bitume élastomère, complété d'un film polyoléfine étanche de 2 mm d'épaisseur (TPO Flagon EP/ER). La protection étanche couvre 40 000 m². Le Centre culturel Heydar Aliyev, conçu

par l'architecte Zaha Hadid, abrite trois salles, une bibliothèque et un musée sur plus de 100 000 m². La société Flag du groupe Soprema, située en Italie, est spécialisée dans les membranes d'étanchéité synthétiques en toiture mais aussi en souterrain et pour les ouvrages hydrauliques. Elle avait réalisé l'étanchéité de la toiture du stade de Medellin en Colombie avec une membrane PVC de 1,5 mm d'épaisseur en trois couleurs. ■

PRÉ-RECÉPAGE DE PIEUX PAR FRAGILISATION DE LA TÊTE



© FRANKI/FAVAT

1- Armatures équipées d'une réservation à la hauteur du recépage voulu.



© FRANKI/FAVAT

2- Mise en place d'une armature dans le béton frais.



© FRANKI/FAVAT

3- Descente de la cage à l'aide d'un outil spécifique.

Franki a breveté un procédé de pré-recépage de pieux. La société du pôle Fondations du groupe Fayat a mis en œuvre cette innovation sur plusieurs chantiers. Le système réduit les nuisances du recépage de pieux de fondations habituellement réalisé au marteau-piqueur ou par l'action d'un agent chimique explosif. Le recépage intervient après le coulage d'un pieu quand il faut supprimer sa partie haute de moins bonne qualité (présence de bentonite, ou autre impu-

reté ou défaut) et pour amener la tête au niveau requis. L'idée de Franki consiste à fragiliser cette partie de façon à la casser par un effort mécanique restreint. Le système se met en place lors du coulage du pieu. Tout d'abord, l'armature qui maintiendra l'ouverture du forage reçoit une réservation à la hauteur du recépage désiré et les filants de la cage sont protégés d'une mousse au-dessus de cette réservation (photos 1 et 2). Une fois le pieu coulé mais le béton

encore frais, la cage est descendue (photo 3) avec la réservation placée au niveau du terrain nivelé. Un outil spécifique (photo 4) aide à positionner l'armature à la profondeur voulue. Une anse métallique, qui servira à sortir la tête indésirable du pieu, est insérée. Une fois le béton pris, le pieu est dégagé et un effort sur sa tête va entraîner la fissuration à l'endroit de la réservation. La partie ainsi cassée est extraite grâce à une pelle glissée dans l'anse. La finition est presque parfaite (photo 5). ■



© FRANKI/FAVAT

4- Outil de descente de l'armature et du réglage de sa position.



© FRANKI/FAVAT

5- Aspect final, une fois la tête du pieu extraite.

FONDACTIONS DE TRAVAIL À LA TOUR EIFFEL

Sotraisol Fondations a installé les micropieux nécessaires à la plate-forme de travail de la rénovation du 1^{er} étage de la Tour Eiffel. L'intervention de la société du groupe Fayat a duré dix jours : forage de 250 mm de diamètre jusqu'à 12-13 m de profondeur, tubes de 127 mm, et 24 micropieux de type III.

UN DÉPARTEMENT RECYCLE SES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

Le Conseil général des Alpes-de-Haute-Provence s'engage dans le recyclage des panneaux solaires présents sur son territoire (300 ha de centrales solaires plus des modules en toiture). Pour cela, il a décidé d'adhérer à l'association européenne PV Cycle qui organise la collecte et le recyclage. Le département propose deux points de collecte gratuite : en déchetterie et sur le site même pour les installations à partir de 30-40 panneaux. Les capteurs photovoltaïques ont une durée de vie de vingt à trente ans. Mais les installateurs observent déjà du renouvellement du fait du meilleur rendement des dernières générations de matériel.



© FRÉDÉRIC EXUBIS/CG04

Ferme solaire de 200 ha sur la commune des Mées près de Dignes (Alpes-de-Haute-Provence).

LUMIÈRE SOLAIRE EN TUBE

Les tubes à lumière solaire servent à apporter un éclairage naturel dans les pièces aveugles. Cette innovation est mise en œuvre sur la Tour du commerce et de l'industrie en chantier à Hong-Kong. Le bâtiment de 22 étages et 67 000 m² abrite le ministère du Commerce et de l'Industrie de l'île. L'édifice compte de nombreux dispositifs visant à économiser l'énergie ou à en produire à peu de frais afin de répondre aux exigences de la certification américaine Leed⁽¹⁾ : capteurs solaires photovoltaïques et thermiques, éclairage naturel et cheminées solaires. Par ailleurs, il sera raccordé au réseau de froid en cours d'installation dans le quartier. Une partie de la façade sera végétalisée. Dragages Hong Kong, filiale de Bouygues Construction, a remporté ce contrat de conception et construction d'environ 207 millions d'euros.

⁽¹⁾ **Leed** : Leadership in Energy and Environmental Design.



© WONG TUNG AND PARTNERS

La lumière solaire parvient jusqu'à des pièces sans fenêtre de la Tour du commerce et de l'industrie à Hong-Kong.

CONSOMMER DIX FOIS MOINS D'ÉNERGIE



© AUGUSTO DA SILVA

Sous la ferme solaire de Challenger, ont été implantées 75 sondes verticales géothermiques.

En 2014, le siège de Bouygues devrait consommer dix fois moins d'énergie qu'actuellement. Challenger deviendra une vitrine de ce qui peut se faire en rénovation énergétique de bâtiment. Tout est fait pour que les 68 000 m² utiles auxquels s'ajouteront une extension de 1 500 m² répondent à trois certifications environnementales : la HQE bâtiments tertiaires, la Leed (États-Unis) et la Breeam (Grande-Bretagne). Le chantier sur le site construit entre 1985 et 1988 a commencé en 2010. Les innovations portent surtout sur les productions d'énergie. L'électricité produite par les capteurs photovoltaïques (21 500 m²) sera directement utilisée sur le site et non vendue à EDF,

soit près de 2 000 MWh à disposition par an. Pour améliorer leur productivité, chaque module est indépendant des autres alors qu'ils sont généralement reliés en chaîne et fonctionnent par "blocs". Cette indépendance obtenue par un boîtier apporte un gain jusqu'à 20 %. La géothermie fait son entrée sous deux formes. D'une part, 75 sondes verticales plantées sous la ferme solaire vont exploiter les 12°C du sol à 100 m de profondeur. Cette température est rehaussée si besoin par une pompe à chaleur. D'autre part, une seconde pompe à chaleur utilise les 14°C d'une nappe située à 140-150 m de profondeur (couche du Lutétien) pour chauffer ou refroidir les

locaux. Un des deux puits reprend l'ancien forage de l'arrosage du site. L'autre devra être spécialement creusé⁽¹⁾. Parce que les locaux ont plus besoin d'être refroidis que chauffés à cause d'apports internes élevés, le système rejettera plus de calories qu'il n'en prélève. Les concepteurs estiment que la nappe souterraine se réchauffera d'un dixième de degré en trente-cinq ans d'exploitation. Rappelons que l'installation thermique précédente était constituée d'une boucle d'eau avec des pompes à chaleur terminales, du gaz et des tours aéroréfrigérantes (climatisation).

De plus, des capteurs solaires thermiques - 420 m² - devraient couvrir la moitié des besoins en eau chaude sanitaire et de ceux du restaurant et du gymnase.

Le Challenger version 2014 sera également économe en eau et en assainissement. Les eaux pluviales sont récupérées pour servir d'eau froide sanitaire, alimenteront les refroidisseurs et les stations de lavage. Les eaux usées, après passage dans des jardins filtrants, seront utilisées sur place pour l'arrosage de pelouses. Ces consommations et celles d'énergie pourront être suivies en temps réel dans un bâtiment de démonstration - le cockpit - à vocation pédagogique et commerciale. ■

⁽¹⁾ Intervention aux premières Journées de la géothermie (décembre 2011).

RÉNOVATION THERMIQUE D'UNE FAÇADE VITRÉE

La rénovation de la Cité judiciaire de Montbéliard (Doubs) aura duré six ans en site occupé. La façade vitrée du bâtiment construit dans les années 1970 n'était plus étanche ni à l'air ni à l'eau. L'isolation thermique de l'époque, le manque de contrôle des apports solaires et un circuit de chauffage mal adapté, exposaient les personnes à des surchauffes ou à des températures insuffisantes. Le renouvellement de l'isolation par l'extérieur et des vitrages en façade tempère dorénavant l'ambiance intérieure.

Le cabinet d'architectes Lhomme-Nectous et le bureau d'études Enebat ont d'abord fait poser les nouvelles fenêtres au nu intérieur des maçonneries. Une fois le clos ainsi assuré, il était possible de démonter les anciennes placées au nu extérieur car elles se

trouvaient dans l'alignement des parties vitrées recouvrant des portions de mur (là où il n'y a pas de fenêtre). Mais les nouvelles menuiseries se trouvent alors en recul par rapport aux autres éléments de façade. Pour conserver l'aspect initial, une grille en aluminium est donc rapportée sur toute la hauteur devant le mur béton et les nouvelles

fenêtres. Elle reçoit des brise-soleil devant les fenêtres et des verres décoratifs émaillés devant les parties opaques. Les nouvelles fenêtres ont des qualités d'isolation élevées. À apport de lumière naturelle égale, le vitrage Cool-lite Xtreme 60/28 de Saint-Gobain Glass divise par deux les apports solaires par rapport au passé. ■



© SAINT-GOBAIN GLASS

Les fenêtres isolantes se trouvent au nu intérieur des maçonneries derrière une nouvelle double paroi.



EXPERTS EN FONDATIONS SPECIALES



- SOUTÈNEMENT
- TIRANTS
- PIEUX ET MICROPIEUX
- INJECTIONS
- CONSOLIDATION ET AMÉLIORATION DE SOLS

Fort des 4 entreprises de son Pôle Fondations, le groupe Fayat dispose d'une gamme complète de solutions techniques pour tous les types de fondations et de travaux de consolidation des sols. Les 4 sociétés du Pôle apportent ainsi à leurs clients toute leur expertise en fondations spéciales et le savoir-faire de leurs équipes sur des chantiers d'envergure comme sur des travaux de proximité.



Sotres

Préparation des matériaux

Distributeur exclusif **LAMEX - caviem - FILMAC**

Traitement des sables

- Lavage Essorage Attrition
- Correction des courbes granulométriques
- Sables de verrerie et sables industriels

Traitement et recyclage des eaux

- Floculation Clarification
- Décantation

Concentration et pressage des boues

- Filtres Presse automatisés

Traitement des boues bentonitiques

- Installations complètes pour tunneliers
- Dessableurs pour fondations spéciales

Traitement des boues de curage

- Curage d'égouts et dragages de bassins

Traitement des matériaux recyclés

- Verre, résidus industriels, plastiques



Parc Européen des Entreprises, rue Richard Wagner 63200 RIOM - FRANCE

tél: +33 (0)4 73 15 36 00 - fax: +33 (0)4 73 15 36 20 www.sotres.fr sotres@sotres.fr

L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

L'ouvrage de Roger Ginocchio sur l'énergie hydraulique paru en 1978 a été réédité avec l'aide de Pierre-Louis Viollet dans la collection EdF R&D chez Lavoisier. Les deux auteurs connaissent bien l'énergie hydraulique puisque M. Ginocchio était à la direction générale de la compagnie

et M. Viollet travaille à la direction de la recherche et du développement. Les services techniques de la Production hydraulique d'EdF ont contribué à la mise à jour du contenu. Le livre aborde aussi les questions environnementales dans ce domaine. L'hydroélectricité n'a pas dit son dernier mot.

Elle pourrait produire plusieurs milliers de terawatts-heure (millions de millions) par an tout en étant rentable. En cas de besoin, cette énergie pallie rapidement l'indisponibilité d'autres sources.

www.lavoisier.fr ■



VIDÉOSURVEILLANCE

La nouvelle édition de la Règle Apsad R82 propose une définition des exigences techniques applicables aux systèmes de vidéosurveillance par caméra intérieure ou extérieure. Ce référentiel fournit les recommandations pour concevoir, installer et assurer la maintenance de ces

systèmes dans des applications de sécurité. Cette nouvelle version apporte un complément sur la gestion d'activité, clarifie la définition des objectifs de prise de vue et aborde les petits systèmes et la télévidéosurveillance. Elle inclut l'utilisation d'une cible

normalisée pour réceptionner l'installation. L'objet plastifié permet d'évaluer les performances des caméras et la conformité de la prise de vue à la règle Apsad R82 et à la norme EN 50132-7.

www.cnpp.com ■



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• **10 AU 12 JUILLET**
Analyse du cycle de vie
en génie civil et construction
Lieu : Nantes
www.rilem.net

• **3 AU 6 SEPTEMBRE**
Réparation, réhabilitation
et réutilisation du béton
(66^e semaine du Rilem)
Lieu : Cape Town (Afrique du sud)
www.rilem.net

• **19 AU 21 SEPTEMBRE**
Infrastructures innovantes,
vers un urbanisme humain
Lieu : Séoul (Corée du Sud)
www.iabse.org/seoul2012

• **2 AU 4 OCTOBRE**
Interoute et ville
Lieu : Lyon (Eurexpo)
www.interoute-ville.com

• **9 ET 10 OCTOBRE**
Ouvrages de génie civil hydraulique
(colloque Le Pont)
Lieu : Toulouse
www.afgc.asso.fr

FORMATIONS

• **13 JUILLET**
Rénovation énergétique :
intervenir en milieu occupé
(tertiaire et logement)
Lieu : Paris
<http://formations.lemoniteur.fr>

• **10 ET 11 SEPTEMBRE**
Construire en bois
selon la RT 2012
Lieu : Paris
<http://formations.lemoniteur.fr>

• **17 AU 19 SEPTEMBRE**
Surveiller les parties immergées
des ouvrages maritimes et fluviaux
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **24 AU 28 SEPTEMBRE**
Accessibilité bâtiments et voirie
Lieu : Paris
<http://formations.lemoniteur.fr>

• **27 SEPTEMBRE**
Qualité et sécurité des matériaux
en distribution d'eau potable
Lieu : Paris
www.oieau.org/cnfme

• **8 ET 9 OCTOBRE**
Eurocode 7 : calcul des écrans
de soutènement
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **9 OCTOBRE**
Géosynthétiques
Lieu : Rouen
www.cfg.asso.fr

• **9 AU 11 OCTOBRE**
La géologie appliquée
aux ouvrages de génie civil
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **15 AU 17 OCTOBRE**
Spécificités des études du génie
civil nucléaire : ETC-C, conception
(avec l'Afcen)
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **16 ET 17 OCTOBRE**
Géosynthétiques, applications
environnementales
Lieu : Villers-les-Nancy
www.cfg.asso.fr

• **17 ET 18 OCTOBRE**
Conception parasismique
des ouvrages géotechniques,
applications aux ouvrages
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **22 AU 24 OCTOBRE**
Maîtriser les effets de l'eau
dans les sols
Lieu : Paris
www.ponts-formation-conseil.fr

• **29 ET 30 OCTOBRE**
Iso 50 001 (management énergie)
Lieu : Paris
<http://formations.lemoniteur.fr>

NOMINATIONS

**ARCHITECTES CONTRACTANTS
GÉNÉRAUX :**
le Syndicat national des archi-
tectes contractants généraux
(SNACG) est désormais présidé
par Jean-Pierre Bosquet qui
remplace Bertrand Gantois.

CANALISATEURS DE FRANCE :
Alain Grizaud succède à Jacques
Dolmazon à la présidence de
l'organisation professionnelle.

**ÉCOLOGIE, DÉVELOPPEMENT
DURABLE ET ÉNERGIE :**
Géraud Guibert a été nommé
directeur du cabinet de Nicole
Bricq, ministre de l'Écologie,
du développement durable
et de l'énergie (MEDDE).

EIFPAGE :
Bruno Petrucci devient direc-
teur d'Eiffage Travaux publics
Nord suite à la mise en cause
de son prédécesseur.

MEDEF :
Antoine Foucher est directeur
des relations sociales au
Mouvement des entreprises
de France depuis fin mai.

OLYMPIADES DES MÉTIERS :
Michel Guissembert a été élu
président du conseil d'admini-
stration du Comité français
des Olympiades des métiers.
Il succède à Marie-Thérèse
Geffroy, dix ans présidente.

PORTS DE PARIS :
Alexis Rouque prend la suite
de Hervé Martel à la direction
générale.

SAUR :
Michel Bleitrach quitte la
présidence de Keolis, filiale
transport public de la SNCF,
pour rejoindre la Saur dont
il sera président. Joël Séché
qu'il remplace reste actionnaire.

TRANSPORTS :
Emmanuel Kesler devient
directeur du cabinet de
Frédéric Cuvillier, ministre
délégué chargé des transports
et de l'économie maritime.

UEPG :
Arnaud Colson (Lafarge
Granulats-Bétons France)
a été élu président de l'Union
européenne des producteurs
de granulats, à la suite de
Jim O'Brien (CRH, Irlande).

Geoexperts
Bureau d'études de sols et fondations

vous garantit la stabilité de vos ouvrages anciens, nouveaux et futurs...
Quel que soit votre projet, nos ingénieurs sauront vous conseiller
et vous conforter dans votre choix final.







- Expertises géologiques et hydrogéologiques
- Expertises géotechniques
- Etudes de faisabilité géotechnique
- Maîtrise d'œuvre géotechnique

www.geoexperts.fr - contact@geoexperts.fr

Geoexperts, 11 Rue Albert Einstein - 77420 CHAMPS SUR MARNE - FRANCE
Tel : +33(0)1 64 61 87 87 - Fax : +33(0)1 64 61 17 38



LE PROCÉDÉ ORTHODALLE® : UNE INNOVATION VALIDÉE SUR OUVRAGE DE RÉFÉRENCE

ors de sa séance du 4 juin 2012, le CODOR (Comité d'Orientation du Réseau Génie Civil & Urbain) a examiné l'innovation présentée par l'entreprise Eiffage Travaux Publics et lui a attribué le **label IVOR (Innovation validée sur ouvrage de référence)**.

Le label attribué concerne le Procédé ORTHODALLE® pour la réparation et le renforcement d'un tablier orthotrope par un Béton Fibré Ultra Performant (BFUP).

L'OUVRAGE DE RÉFÉRENCE EST LE FRANCHISSEMENT DU CANAL DE HUNINGUE PAR LA RD 201 À ILLZACH (HAUT-RHIN).

Le procédé ORTHODALLE® mis en œuvre par Eiffage Travaux Publics, sous la maîtrise d'ouvrage du Conseil Général du Haut-Rhin, a privilégié le recours à des dalles préfabriquées de 50 mm d'épaisseur en BSI®, le BFUP d'Eiffage TP. Les éléments de dalles préfabriquées ont été connectés au platelage orthotrope au moyen de poches de connexion par goujons. Ces éléments ont remplacé le revêtement en place (enrobés bitumineux + asphalte bicouche d'épaisseur variable) qui a été enlevé totalement. Des bandes de clavage entre éléments préfabriqués ainsi que les poches de connexion ont été ensuite coulées en place avec du BSI®.

Cette technique innovante de réparation présente plusieurs intérêts :

→ Elle permet de réduire au strict

minimum la durée des restrictions ou la coupure totale de la circulation sur l'ouvrage ;

→ Elle permet d'accroître la capacité portante de la dalle orthotrope, en réduisant les contraintes dans le platelage métallique ;

→ Elle fait appel à l'emploi du BFUP, composite dont la durée de vie attendue conduit à un bilan environnemental sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage considérablement amélioré. Cette réparation couverte par le MEDDE dans le cadre du soutien à l'innovation routière s'est accompagnée d'un programme d'expérimentations et d'instrumentations et de la création d'un comité de suivi qui doit permettre de suivre l'ouvrage sur une durée de dix ans.

L'ouvrage fait ainsi l'objet d'une instrumentation fine du tablier permettant d'apprécier le comportement mécanique de l'ouvrage réparé sous circulation routière et la conformité par rapport au modèle théorique.

DOMAINE D'APPLICATION DU PROCÉDÉ ORTHODALLE

Du fait de sa typologie, le pont de la RD 201 à Illzach est un pont assez représentatif des ouvrages pouvant être réparés par le procédé. Mais chaque ouvrage subissant une réparation est un cas particulier qui nécessite de recalculer la structure complètement. Le CODOR souhaite donc limiter actuellement le domaine d'application du procédé ORTHODALLE au renforce-

1 - Pont de la RD 201 à Illzach (Haut-Rhin).

2 & 3 - Pose des dalles préfabriquées en BSI®, le BFUP d'Eiffage TP.

ment local en fatigue de ce type d'ouvrage orthotrope isostatique à poutres latérales.

Ce procédé est également très prometteur pour la conception de ponts métalliques neufs de type « dalles mixtes acier-BFUP orthotropes » ouvrant ainsi la voie à la conception d'ouvrages très élancés et légers. □

IVOR INNOVATIONS VALIDÉES SUR OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

Pour mémoire, la procédure IVOR créée 1994, a pour but de favoriser le développement et la diffusion des innovations techniques en génie civil. À cet effet, le Comité IVOR, formé de personnalités du génie civil, de compétence et d'impartialité reconnue, attribue un label IVOR à chaque innovation jugée intéressante sur la base d'une expertise.

Le label IVOR constitue une référence pour les rapports entre inventeurs et maîtres d'ouvrage, en France mais aussi à l'exportation. En effet, grâce au dossier technique de validation et à l'appréciation du comité sur l'innovation, qui accompagnent le label, l'utilisateur futur dispose d'éléments de jugement indépendants du concepteur de l'ouvrage et de l'inventeur de l'innovation.

Quarante-deux labels ont été délivrés précédemment. Les innovations labellisées concernent des ouvrages très différents (un bâtiment en bois, une digue, un dallage industriel, un mur de soutènement, une route, une déchetterie, une écluse, des ponts), ou ont été mis en œuvre pour résoudre un problème particulier (traiter une pollution *in-situ*, stabiliser un glissement de terrain, enfouir des câbles HTA en montagne, protéger contre la corrosion ou démonter un pont en béton).

Tous les types d'innovations (matériaux, procédé, méthode de calcul...) intéressant le génie civil sont concernés par cette labellisation.

DES FONDATIONS SOLIDES POUR LE FUTUR SIÈGE DE CARREFOUR

DANS LE QUARTIER D'AFFAIRES ATLANTIS DE MASSY (ESSONNE), LE PROJET MASSY CAMPUS PREND FORME. LES FONDATIONS DE L'IMMEUBLE DE PRÈS DE 86 000 M² QUI ACCUEILLERA EN 2014 LE NOUVEAU SIÈGE MONDIAL DE CARREFOUR SONT QUASI TERMINÉES APRÈS 8 MOIS DE TRAVAUX. UNE PREMIÈRE ÉTAPE DÉCISIVE MENÉE À BIEN PAR SPIE FONDATIONS ET SEFI-INTRAFOR.

L'immeuble, qui s'inscrit dans une démarche de développement durable (HQE et BBC) a été conçu par les architectes d'Atelier 115. Il sera composé de 4 bâtiments, d'un parking de près de 2 000 places en sous-sol, un restaurant de plus de 1 000 places, une salle de fitness, 1 salle de formation et 1 salle de conférence.

Afin d'installer le futur immeuble sur des bases solides, l'entreprise générale titulaire du marché, Eiffage Construction, a fait appel à un groupement Spie Fondations/Sefi-Intrafor pour les travaux de parois moulées et tirants d'ancrage.

79 PANNEAUX DE PAROIS MOULÉES : 14 000 M² DE FORAGE

De mi-septembre à fin novembre 2011, les deux sociétés se sont donc partagé les 4 pans de parois moulées à construire, soit 79 panneaux de 2,8 m à 7,5 m de longueur, avec une longueur totale de 551 mètres linéaire sur une épaisseur de 82 cm. Avec environ 16 mètres de hauteur terrassée (le bâtiment aura 4 niveaux de sous-sol destinés à des parkings) et 26 mètres d'excavation, ce sont 7 à 8 panneaux par semaine qui ont été construits par forage classique à la benne à câbles et à la benne hydraulique.

Avec quatre ateliers de forage à deux postes et un assemblage des cages sur site, ce sont 14 000 m² de forage, 12 000 m³ de béton et 1 100 tonnes d'aciers qui ont été nécessaires pour réaliser ces parois moulées.

747 TIRANTS D'ANCRAGE : 19 000 MÈTRES DE FORAGE

Une fois les parois moulées finies, les équipes se sont attelées à la réalisation des tirants d'ancrage provisoire, afin de stabiliser les parois le temps



de construire le bâtiment. Avec 9 à 12 tirants par panneaux, en trois lits, et des longueurs allant de 21 à 38 mètres, ce sont 747 tirants qui ont été réalisés en 18 semaines.

Les quatre ateliers de forage ont ainsi réalisé 19 000 mètres de forage, avec l'aide de deux centrales à coulis et d'un atelier de tubage.

ÉTAPE SUIVANTE : 500 PIEUX

Une fois les parois et les tirants en place, Spie Fondations et Franki Fondation ont attaqué la réalisation de 500 pieux de diamètres 720, 820 et 920, à une vingtaine de mètres de profondeur. Les fondations ont été finies en juin pour laisser la place au gros œuvre. □

1- Fouille du chantier Massy Campus (vue générale).

2 & 3- Forage du 3^e lit de tirants.

UNE CARTOGRAPHIE DU SOL INCONTOURNABLE

Des coupes réalisées en amont avaient permis de cartographier précisément les types de sols, pour adapter le forage et les tirants. Sur le projet Massy Campus, on trouve : de 0 à 6 m, des sables de Fontainebleau, de 6 à 12 m, des marnes à Huitre et du calcaire de Brie, de 12 à 18,5 m, des argiles vertes, de 18,5 m à 25 m, des marnes de Pantin et à partir de 25 m, des marnes d'Argenteuil.

2013, ANNÉE DE LA MÉCANIQUE DES SOLS ET DE LA GÉOTECHNIQUE

PARIS ACCUEILLE LE 18^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE, EN SEPTEMBRE 2013. C'EST L'OCCASION DE MIEUX FAIRE CONNAÎTRE LA DISCIPLINE EN FRANCE ET LE SAVOIR-FAIRE FRANÇAIS AUX ÉTRANGERS QUI Y ASSISTERONT.

ENTRETIEN AVEC PHILIPPE MESTAT, PRÉSIDENT DU COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE. PROPOS RECUEILLIS PAR MONIQUE TRANCART



© DR

PHILIPPE MESTAT PRÉSIDE LE COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE (CFMS). IL EST AUSSI DÉLÉGUÉ SCIENTIFIQUE DU DÉPARTEMENT GÉOTECHNIQUE, EAUX ET RISQUES DE L'INSTITUT FRANÇAIS DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DES TRANSPORTS, DE L'AMÉNAGEMENT ET DES RÉSEAUX – IFSTTAR⁽¹⁾, APRÈS AVOIR ÉTÉ CHEF DE LA DIVISION DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR AU LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES OÙ IL EST ENTRÉ EN 1984.

Le Comité français de mécanique des sols a proposé que la France accueille le 18^e congrès international de mécanique des sols et de géotechnique.

Nous avons déposé la candidature de la France en 2007 et elle a été acceptée officiellement en 2009 au congrès d'Alexandrie (Égypte). Ce grand événement international qui se tient tous les quatre ans, aura donc lieu à Paris, du 2 au 5 septembre 2013⁽²⁾. La dernière fois que Paris l'a accueilli, c'était lors du 5^e congrès en 1961 à l'Unesco,

à l'initiative d'Albert Caquot (1881-1976), ingénieur et savant, à qui nous devons, notamment, un mode de calcul des équilibres poussée-butée dans les ouvrages de soutènement.

Vous organisez trois événements en même temps avec, à côté du congrès, la parution d'un livre et une exposition au Conservatoire national des arts et métiers. Qu'est-ce qui motive cette importante mobilisation ?

La mécanique des sols n'est pas assez connue, que ce soit du grand

public ou des professionnels du BTP. Nous voulons profiter de la tenue du congrès pour valoriser la discipline et y attirer des jeunes.

Nombre de spécialistes en mécanique des sols vont partir en retraite dans les prochaines années. Il faut donc les remplacer car les besoins de connaissance dans ce domaine persistent. Les jeunes doivent être formés et leur formation, complétée par l'expérience des anciens.

Le congrès sera d'ailleurs précédé d'une réunion des jeunes géotechniciens. La société a besoin de

spécialistes pour juger les réponses aux appels d'offres, réceptionner les travaux, réagir en cas d'accidents et maîtriser les coûts. Il est également nécessaire de susciter les innovations et d'avoir des experts capables de les valider.

Par ailleurs, il y a un fort besoin de recherche, en particulier concernant la conception des ouvrages et leur comportement à long terme (prévisions). Par exemple, nous savons expliquer l'origine d'un glissement de terrain après coup mais nous ne savons pas le prévoir.

© MENARD



© SOLETANCHE BACHY



Le 18^e congrès traite-t-il d'un thème particulier ?

Le congrès s'intitule Défis et innovations. Il sera en particulier question des ouvrages hors du commun qui ont présenté des difficultés et qui ont engendré des innovations. Ce sera l'occasion d'évoquer le savoir-faire d'entreprises françaises autour de cas précis. Deux des quatre jours seront consacrés à des séances plénières sur des sujets comme la sismique, l'apport de la géotechnique à la réhabilitation de monuments historiques ou le panorama de la discipline en France. Des ateliers se tiendront les deux autres jours sur ces thèmes ainsi que sur d'autres comme les matériaux renouvelables en géotechnique ou les aspects juridiques de notre profession. Nous avons reçu un millier de propositions de communications pour le congrès. Nous devons finaliser la sélection⁽³⁾.

Sur quoi porte le livre que le CFMS va publier ?

Cet ouvrage sera édité par Les Presses des Ponts pour le congrès en 2013. Après une ouverture sur l'avenir de la mécanique des sols et un chapitre sur la diversité géologique de notre pays, il développe une histoire de France par le prisme de cette discipline en rappelant les inventions françaises comme la Terre Armée ou la consolidation dynamique.

Par exemple, Jules César avait remarqué la manière dont les Gaulois construisaient leurs fortifications. Ces *murus gallicus* étaient en pierres renforcées de poutres en bois entrecroisées, un assemblage qui a pu inspirer plus tard l'idée du béton armé. Nous rappelons les apports des spécialistes des XVII^e, XVIII^e et XIX^e siècles comme Sébastien le Prestre de Vauban (tables empiriques de poussée des terres), Charles-Augustin Coulomb

OUVRAGE HISTORIQUE SUR LA MÉCANIQUE DES SOLS EN FRANCE

Le livre sur l'histoire de la mécanique des sols et de la géotechnique qui paraît à l'occasion du 18^e congrès international de ces disciplines, en septembre 2013, comporte quatre parties après une introduction prospective :

- **Chapitre 1 : géologie de la France ;**
- **Chapitre 2 : histoire de la mécanique des sols en France ;**
- **Chapitre 3 : portraits des grands inventeurs, ingénieurs, précurseurs, entrepreneurs français ;**
- **Chapitre 4 : grands ouvrages passés et futurs.**

Éditions Les Presses des Ponts (ENPC).

(calcul de stabilité), Alexandre Collin (notion de cohésion dans les argiles et boîte de cisaillement). Nous évoquons aussi la réflexion occasionnée par certains projets même s'ils ne se sont pas concrétisés comme le port fortifié d'Anvers (Belgique). Dans la première moitié du XX^e siècle, la France est en retrait. Les Nord-Américains dominent la discipline sous l'influence de grands ingénieurs comme Karl Terzaghi. C'est l'époque du développement des barrages. Après 1945, réapparaissent des entreprises françaises innovantes comme celle de Louis Ménard.

- 1- Inclusions rigides sur A89.
- 2- Soutènements de la Tour Odéon à Monaco.
- 3- Le Havre Port 2000.
- 4- Fondations du Pôle Euro-nantes.

Vous consacrez à cet inventeur une partie du troisième chapitre qui présente des portraits de spécialistes de la mécanique des sols.

Louis Ménard a créé le pressiomètre qui sert à mesurer la résistance du sol en place sans carottage. L'entrepreneur-inventeur figure donc naturellement dans cette galerie de portraits de grands ingénieurs, savants et précurseurs de la mécanique des sols comme Vauban, Coulomb mais aussi Henri Darcy (hydraulique des sols), Claude Navier (mécanique des milieux continus), Henri Vidal (Terre Armée). Nous présentons aussi en quelques lignes nos contemporains membres du Comité.

Vous consacrez également un chapitre aux grands ouvrages réalisés par des entreprises françaises.

Nous voulons souligner le savoir-faire français. Nos ingénieurs ont longtemps été à la pointe de la mécanique des sols et les entreprises actuelles sont très innovantes.

Leur savoir-faire sera mis en avant à travers, par exemple, la description du pont de Rion-Antirion (Grèce), du viaduc de Millau, etc.

Nous développerons aussi des chantiers restés célèbres comme celui des fondations de la Tour Eiffel - deux pieds sur la terre ferme, deux pieds sur des alluvions d'un ancien bras de la Seine.

Vous prévoyez aussi une exposition au musée du Conservatoire national des arts et métiers.

L'exposition démarrera quelques mois avant le congrès et donnera lieu à l'édition d'un catalogue, plus modeste que le livre. Elle montrera les défis que représentent les fondations, les terrassements, les appuis, la résistance des sols. Elle a plus une vocation pédagogique et informative que le livre. Les scolaires pourront réaliser des expérimentations et constater les différences de comportement de sols selon leur granulométrie. Par ailleurs, ils pourront observer la résistance de la Terre Armée par comparaison à du sable seul. Le pont Rion-Antirion sera présenté en maquette et expliqué. Des films commentés présenteront des chantiers remarquables. Nous aborderons également le thème de l'environnement et de l'emploi des géosynthétiques ainsi que les travaux à venir dans le cadre du Grand Paris avec leurs difficultés et leurs défis. La géotechnique ferroviaire sera incluse dans la partie temporaire. □

1- **IFSTAR** : fusion du LCPC et de l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, le 1^{er} janvier 2011.

2- Palais des Congrès, Paris - Porte Maillot.

3- Programme du congrès à paraître sur www.issmge2013.org





LA RÉVISION DE LA NORME NFP 94-500 SUR LES MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE EST EN COURS

AUTEUR : JACQUES ROBERT, EXPERT ARCADIS, PRÉSIDENT DU COMITÉ GÉOTECHNIQUE DE SYNTEC-INGENIERIE ET VICE-PRÉSIDENT DU COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

CETTE NORME DÉFINIT L'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE QU'IL Y A LIEU D'APPLIQUER À CHAQUE PROJET POUR ASSURER UNE GESTION OPTIMALE DES RISQUES GÉOTECHNIQUES ASSOCIÉS AU SITE ET AUX CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE À CONSTRUIRE.

La première édition de la norme, datée de juin 2000, précisait les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires pour les projets d'infrastructures et de bâtiments. La révision de cette norme en décembre 2006 a introduit la problématique de la maîtrise des risques géotechniques vis-à-vis des trois objectifs fondamentaux : sécurité des personnes, qualité de l'ouvrage, respect des coûts et des délais. Elle a décrit le management des risques géotechniques comme un processus rigoureux nécessitant l'enchaînement des trois étapes suivantes de missions d'ingénierie géotechnique (tableau 1) :

1- Les études géotechniques préalables (étude géotechnique préliminaire de site et étude géotechnique d'avant-projet) : elles permettent, à partir de données géotechniques

qui doivent être pertinentes et en nombre suffisant à ce stade de définition initiale du projet, une première identification des incertitudes géotechniques et des risques majeurs qui leur sont associés. Ces risques identifiés, ainsi que les diverses actions possibles pour les réduire, sont présentés au maître d'ouvrage qui décide alors des actions à mettre en œuvre pour atteindre ses propres objectifs.

2- L'étude géotechnique de projet : cette étape a pour but de réduire les incertitudes géotechniques et de traiter ainsi les risques géotechniques importants, selon les objectifs et les choix du maître d'ouvrage. Il est fait à la fin de cette étape le choix de l'entrepreneur qui partagera certains risques identifiés avec le maître d'ouvrage.

1- Chantier de reconstruction des remparts du château de Saumur (Maine-et-Loire) pour lequel ARCADIS a réalisé l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique.

3- Les études et suivis géotechniques en phase exécution : ils traitent les incertitudes et les risques résiduels identifiés, considérés comme étant acceptables et partagés entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur. Réalisée usuellement pour le compte de l'entrepreneur, la mission d'étude et suivi géotechniques

d'exécution permet de définir d'une part les mesures correctives à mettre en œuvre si l'un des risques géotechniques identifiés se réalise, d'autre part de définir les mesures de sauvegarde en cas de rencontre d'une anomalie induisant un comportement anormal de l'ouvrage en cours de construction et/ou d'un avoisinant : cette mission permet également de définir les opportunités à saisir en cas de rencontre de conditions géotechniques plus favorables que celles retenues pour les études. Réalisée usuellement pour le compte du maître d'ouvrage, la supervision géotechnique d'exécution permet d'une part de valider les hypothèses et les dispositions constructives retenues au niveau de l'étude géotechnique d'exécution, d'autre part de s'assurer de

la pertinence du suivi géotechnique d'exécution de l'entrepreneur ainsi que des adaptations proposées par lui en fonction des conditions géotechniques et du comportement de

l'ouvrage et des avoisinants observés en cours de travaux.

En dehors de cet enchaînement, la mission ponctuel de Diagnostic géotechnique permet, pendant le déroule-

ment d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, d'étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques. Ce diagnostic peut conduire à modifier ou à réaliser des travaux : il doit alors

être suivi par les missions d'études géotechniques définies précédemment. Après une enquête AFNOR lancée en 2011, il a été décidé de procéder à une nouvelle révision de cette norme, au terme de cinq années d'application, pour remédier à un certain nombre de mauvaises pratiques, qui ont en commun de ne pas respecter l'intégralité du processus rigoureux défini pour assurer un bon management des risques géotechniques.

Sans vouloir être exhaustif, ce retour d'expérience permet de classer ces « mauvaises applications » en cinq catégories :

1- Le non-enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique. Le cas le plus fréquent est celui du maître d'ouvrage qui demande à l'entrepreneur de réaliser la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution directement après l'étude géotechnique d'avant-projet. Cette mauvaise pratique, parfois involontairement suscitée par une mission géotechnique d'avant-projet empiétant fortement sur la mission suivante, est source d'incertitudes et risques géotechniques plus importants en phase réalisation ▷

TABLEAU 1 : NORME NF P 94500 RÉVISÉE 2006
SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

Étape	Phase d'avancement du projet	Missions d'ingénierie géotechnique	Objectifs en termes de gestion des risques liés aux aléas géologiques	Prestations d'investigations géotechniques *
1	Étude préliminaire Étude d'esquisse	Étude géotechnique préliminaire de site (G11)	Première identification des risques	Fonction des données existantes
	Avant projet	Étude géotechnique d'avant-projet (G12)	Identification des aléas majeurs et principes généraux pour en limiter les conséquences	Fonction des données existantes et de l'avant-projet
2	Projet Assistance aux Contrats de Travaux (ACT)	Étude géotechnique de projet (G2)	Identification des aléas importants et dispositions pour en réduire les conséquences	Fonction des choix constructifs
3	Exécution	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3)	Identification des aléas résiduels et dispositions pour en limiter les conséquences	Fonction des méthodes de construction mises en œuvre
		Supervision géotechnique d'exécution (G4)		Fonction des conditions rencontrées à l'exécution
Cas particulier	Étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques	Diagnostic géotechnique (G5)	Analyse des risques liés à ce ou ces éléments géotechniques	Fonction de la spécificité des éléments étudiés

* NOTE : À définir par l'ingénierie géotechnique chargée de la mission correspondante

TABLEAU 2 : NOUVEAU SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases selon la loi MOP	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étude Géotechnique Préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de site		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire / Esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes généraux de construction		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étude Géotechnique de Conception (G2)	APD / AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet		Parmi les solutions envisageables, choix de la solution de base pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet		Définition du projet de base		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE / ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Passation marché		Consultation sur le projet de base et choix de l'entreprise		
Études Géotechniques de Réalisation (G3 / G4)	EXE/VISA	Pour le compte de l'entreprise	Pour le compte du maître d'ouvrage			Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
		Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (indissociable de la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude d'exécution (indissociable de la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives pour en limiter les conséquences, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des rex)	
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (indissociable de la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi d'exécution (indissociable de la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		
		Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)	Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

car elle fait exécuter l'ouvrage sur la base d'un avant-projet et non d'un projet bien défini.

- 2- L'attribution de missions partielles. Le cas le plus fréquent est celui de l'entrepreneur qui sous-traite l'étude géotechnique d'exécution à une ingénierie géotechnique, mais sans lui confier la phase suivi géotechnique d'exécution alors que ces deux phases sont « interactives et indissociables ». Cette pratique accroît les risques géotechniques car elle ne permet pas, par le suivi en temps réel, la validation des hypothèses faites lors de l'étude et les analyses en retour en cas de comportement différent de celui escompté : il y a une perte de réactivité qui peut être source de grosses difficultés.
- 3- La réalisation d'une mission en urgence. Le cas le plus fréquent est celui du maître d'ouvrage qui réalise soudain (prise de conscience seul ou accompagné par le contrôleur technique ou l'assureur, voire l'entrepreneur) qu'il manque une mission alors que son ouvrage est en début de réalisation. Elle est dans

le meilleur des cas commandée en urgence, mais l'ingénierie géotechnique ne dispose plus du temps nécessaire pour s'appuyer sur des investigations géotechniques pertinentes et réaliser les études en toute sérénité, le chantier étant « en attente » : l'urgence est une source importante de risques géotechniques, car les « anomalies » ultérieures résultent toujours de points de détail qui ont été négligés ou non vus.

- 4- L'absence de réaction en cas de mauvaise exécution décelée par le suivi géotechnique ou la supervision géotechnique d'exécution. Ce fait provient de l'absence de pouvoir de l'ingénierie géotechnique, qu'elle soit mandatée par le maître d'ouvrage ou l'entrepreneur : elle doit convaincre le maître d'ouvrage ou son maître d'œuvre dans le premier cas, l'entrepreneur qui est son donneur d'ordre dans le second cas.
- 5- Le contenu des missions confiées pas toujours pertinent. En effet, chaque mission confiée doit s'inscrire dans le processus rigoureux d'enchaînement des missions et

sa pertinence dépend étroitement d'une part des attentes du maître d'ouvrage ou de son maître d'œuvre ou de l'entrepreneur, d'autre part de la consistance des données d'entrée mises à sa disposition.

Pour faciliter la bonne application de cette norme sur les missions d'ingénierie géotechnique, la nouvelle version préparée par l'AFNOR, doit insister sur l'importance du respect de ce processus rigoureux d'enchaînement des missions. Le nouveau schéma d'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (Tableau 2) représente l'état de réflexion actuelle. Pour mieux garantir cet enchaînement des missions, il y a une seule mission géotechnique pour chacune des étapes « Étude géotechnique préalable » et « Étude géotechnique de conception », chaque mission comportant plusieurs phases. La phase AVP, par analogie avec la loi MOP, ne constitue plus une mission mais une phase de conception qui est suivie par la phase PRO puis la phase DCE/ACT. Pour l'étape « Études géotechniques de réalisation », il y a toujours les deux missions « Étude et suivi géotechniques d'exécution » côté

entrepreneur et « Supervision géotechnique d'exécution » côté maître d'ouvrage, mais il sera bien préciser que l'ingénierie géotechnique en charge de l'étude et suivi géotechniques d'exécution ne pourra sous-traiter que la phase Étude d'exécution et restera responsable de l'ensemble de la mission afin qu'elle puisse assurer efficacement le caractère interactif et indissociable de ces deux phases qui est indispensable pour une bonne maîtrise des risques géotechniques.

La géotechnique porte toujours la responsabilité des défaillances d'un projet : c'est donc au niveau de la géotechnique qu'il faut mettre en place le meilleur management des risques.

La révision de cette norme sera à dédier à Francis BACON, philosophe du 16/17^e siècle précurseur de l'empirisme, de la méthode expérimentale et de la logique inductive. En effet, il n'hésitait pas à soutenir face au déterminisme : « On ne commande à la nature qu'en lui obéissant ». Les beaux calculs tri-dimensionnels aux éléments finis ne doivent pas illusionner ceux qui ne cherchent qu'à l'être par facilité ou économie de temps ou d'argent. □

www.rincentbtp.fr



Essai de chargement statique
➤ FRANCE

Essais de chargements dynamiques
➤ BRÉSIL

Travaux de sondages
➤ MALI, TCHAD

Dynamaplaque portable
➤ RINCENT ND TECHNOLOGIES

Essais non destructifs sur fondations
➤ BRÉSIL

- Suivi de chantiers
- Laboratoires d'essais (béton, matériaux, route)
- Essais sur chaussées aéroportuaires et routières
- Essais non destructifs sur fondations
- Essais statiques et dynamiques, Instrumentations
- Environnement Expertise de sites et de sols pollués
- Localisation de cibles et de réseaux enterrés
- Perfectionnement technique et formation



20 agences en France
8 agences à l'International

Parc Elysée - 39, rue Michel-Ange - 91026 Evry cedex
Tél. +33 (1) 60 87 21 25

Bâtis-moi une retraite sereine



Pour percevoir une rente complémentaire une fois à la retraite, c'est aujourd'hui qu'il faut agir. Avec la gamme de contrats **BATIRETRAITE Initiative** dédiés aux professionnels indépendants, vous pouvez bâtir à votre rythme une épargne-retraite et profitez dès à présent de réductions d'impôts dans le cadre de la loi Madelin. **BATIRETRAITE Initiative** c'est, pour les indépendants, une solution souple, sûre et fiscalement avantageuse. Parlez-en à votre conseiller de la SMAvie BTP et rejoignez les professionnels sociétaires de votre société d'assurance mutuelle.

Pour découvrir l'offre de la SMAvie BTP prenez rendez-vous avec un conseiller :

- par téléphone : 01 40 59 73 00
- ou sur smabtp.fr, rubrique "votre conseiller"

92%*

des sociétaires de la SMAvie BTP
sont prêts à nous recommander
auprès de leurs proches.

16,6 / 20*

C'EST LA NOTE DE SATISFACTION
ATTRIBUÉE À LA SMAvie BTP
PAR SES SOCIÉTAIRES



© CÉDRIC HELSIVY FOUR SOULETANCHE BACHY

LA TOUR ODÉON, UN NOUVEAU DÉFI À MONACO

AUTEURS : JOSEPH LAVISSE, INGÉNIEUR PRINCIPAL AU BUREAU D'ÉTUDES SOLETANCHE BACHY - SYLVAIN FORRAY, INGÉNIEUR TRAVAUX SOLETANCHE BACHY - EMMANUEL ROBERT, DIRECTEUR SOLETANCHE SAM

DEPUIS 2009, LES ÉQUIPES DE SOLETANCHE BACHY ET VINCI CONSTRUCTION FRANCE METTENT EN ŒUVRE TOUTE UNE GAMME DE TRAVAUX GÉOTECHNIQUES POUR RÉALISER À MONACO UNE TOUR DE 170 M DE HAUT ET 10 NIVEAUX DE PARKINGS SOUTERRAINS. RÉALISÉE SUR UN TERRAIN À FORTE DÉCLIVITÉ, CE PROJET A DÉBUTÉ PAR LA RÉALISATION D'UNE FOUILLE ASYMÉTRIQUE DE 42 M DE HAUTEUR, AFIN DE LIBÉRER L'EMPRISE DE LA TOUR, ET DE RÉALISER LES FONDATIONS DE LA TOUR ET L'ENCEINTE DU PARKING. CE PROJET, RÉALISÉ AVEC UN PLANNING TRÈS TENDU, EST SUJET À DES CONTRAINTES TRÈS FORTES QU'ELLES SOIENT GÉOLOGIQUES, ARCHITECTURALES OU LOGISTIQUES.

UN PROJET HORS DU COMMUN

À Monaco, aucun projet n'est assez grandiose, comme le passé a pu le démontrer. Une fois encore, les promoteurs du Rocher ont conçu un projet visionnaire pour construire, sur un terrain à très forte déclivité, la tour Odéon qui sera la plus haute tour de Monaco et l'une des plus hautes en France : 48 étages et 170 m de haut, avec en prime un parking souterrain de 10 niveaux !

Le projet a été confié à Vinci Construction France, représenté par un groupement constitué de Soletanche SAM (filiale monégasque de Soletanche Bachy), Trivério, SGTM, GTM Sud et GTM TPCA. Avant même de réaliser le premier béton définitif, il aura fallu démolir une dizaine de villas, et surtout tailler à flanc de montagne un amphithéâtre de 40 mètres de haut, afin de fournir la surface suffisante au projet.

Les travaux, lancés en novembre 2009, seront achevés en juillet 2014 (figure 1 et photo 2).

UNE GÉOLOGIE TOURMENTÉE

Comme souvent à Monaco, la géologie est complexe et tourmentée : Odéon n'échappe pas à la règle. Sous une couverture d'éboulis d'épaisseur variable, on rencontre des marnes et marno-calcaires du Crétacé, reposant à l'aval sur des calcaires durs du Crétacé ou du Jurassique.

Il n'y a pas de nappe stricto sensu, mais il peut y avoir des circulations



1- Le Projet, 48 étages dans un environnement fortement urbanisé.

1- The Project, 48 storeys in a highly urbanised environment.

d'eau le long de zones d'altération ou au contact avec le calcaire.

Le site a fait l'objet d'une reconnaissance importante comportant 46 sondages carottés ou pressiométriques, 15 d'entre eux réalisés par le Maître d'Ouvrage lors de l'avant-projet, les 31 autres réalisés par l'Entreprise au démarrage ou au cours de l'exécution. Ces sondages ont été complétés par 33 sondages destructifs sous les fondations.

LES ÉTAPES DU PROJET

Le chantier a démarré en novembre 2009 sur un terrain d'environ 4 500 m² à flanc de montagne.

Cette forte déclivité, ainsi que la hauteur du soutènement à réaliser pour dégager l'emprise du projet, ont conduit au choix de soutènements étagés permettant l'utilisation de matériels adaptés aux plates-formes de travail disponibles, de plus en plus étendues au fur et à mesure du terrassement, soit de haut en bas :

→ Une micro-berlinoise de 12 m de haut, constituée de 66 micropieux de diamètre 219 mm, et 6 lits de tirants 7T15 d'une longueur variant de 20 à 40 m (photo 3) ;

→ Une paroi berlinoise de 20 m de haut, constituée de 38 pieux de diamètre 1 000 de 30 m de hauteur, retenus par 8 lits de tirants 9T15 (photo 4) ;

→ Une paroi moulée d'épaisseur 800, excavée sur 10 m et appuyée sur une vingtaine de contreforts et 4 lits de tirants 7 à 12T15. Cette paroi, réalisée jusqu'à une profondeur de 55 m, constitue l'enceinte du parking souterrain, qui est réalisé en taupe à partir du niveau de la rue (photo 5).

Enfin, la tour est fondée sur un réseau de barrettes d'épaisseur 1 000 et d'une profondeur maximale de 55 m. De plus, en partie amont du projet, la présence éventuelle d'une couche molle en profondeur a nécessité la réalisation d'un ensemble de clous en fibres de verres (profondeur 50 m), afin d'améliorer les caractéristiques de sol sur cet horizon (figure 6). ▷

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études permettent de préparer tous les détails du projet, de l'adapter en fonction des difficultés pouvant survenir lors de la réalisation :

- Terrain non conforme aux prévisions (réservations pour tirants supplémentaires) ;
- Simplification de certaines parties d'ouvrages complexes ;
- Solution permettant de gagner du temps sans perte de sécurité.

Elles prennent en compte les principales contraintes suivantes :

LE VOISINAGE

La fouille s'inscrit dans un site fortement urbanisé, avec des contraintes draconiennes concernant l'impact du projet sur les avoisinants (5 mm de déplacement pour une fouille de 70 m de haut).

Outre les méthodes classiques de calcul aux modules de réaction, le caractère fortement tridimensionnel a été considéré pour évaluer au mieux les déformations au voisinage de la fouille, au moyen d'un modèle aux éléments finis tridimensionnels, avec loi de comportement élasto-plastique.

PROBLÉMATIQUES PARTICULIÈRES

Des études particulières ont concerné notamment l'évaluation du gonflement du fond de fouille lors d'un déchargement qui atteindra 70 m. Malgré le caractère plutôt rocheux des terrains, un clouage vertical est réalisé à l'avant du soutènement amont, dans la hauteur des sous-sols.

INTERFACE AVEC L'ÉTUDE DE LA TOUR

La hauteur importante de la tour, et les actions qui en résultent sur les fondations sous l'effet du vent et du séisme, nécessitent une étroite liaison entre les études de la tour et celles des soutènements.

Les logiciels existants ne permettent pas l'établissement d'un modèle unique suffisamment raffiné pour rendre compte des sollicitations dans la structure et dans le soutènement, compte tenu d'une loi de comportement du terrain élasto-plastique.

Il a donc été bâti un modèle aux éléments finis 3D géotechnique, avec Terrasol, pour rendre compte du comportement des terrains et des soutènements. Ce modèle est complété par des calculs aux modules de réactions, suivis par les calculs d'armatures des phases de travaux.



2

© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

Pour rendre compte du séisme, le bureau d'études de Vinci a bâti un modèle de structure 3D de l'infrastructure sur lequel sont appliquées les poussées issues des calculs de Soletanche, et les actions de la tour (vent, séisme, charges verticales) issues d'un 3^e modèle de structure.

Ce modèle fournit les cartographies d'armatures des phases de service et de séisme à prendre en compte dans le dessin des armatures (figures 7, 8 et 9).

INTERFACE AVEC LES TRAVAUX

Les études se font en étroite concertation avec le chantier. Un ingénieur sur site, le CET (Coordinateur Etudes Travaux), est dédié à cette concertation.

2- État initial avant démolition.

3- Réalisation des tirants de la micro-berlinoise.

2- Initial state before demolition.

3- Execution of tie anchors for the micro-berlin wall.

Les contacts se font cependant directement avec l'équipe de réalisation et le directeur technique. Cette concertation est indispensable en raison de l'imbrication des divers éléments.

MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

En raison de la géométrie du site, de la nature des avoisinants (un collège) et de la hauteur excavée, le soutènement et les existants sont observés à la loupe. Un nombre impressionnant d'appareils a été installé. Ils sont relevés plusieurs fois par semaine, afin d'analyser au mieux l'impact des travaux : cibles, inclinomètres, piézomètres, extensomètres, cellules CPI...



3

© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY



LES TRAVAUX DE SOUTÈNEMENT ET FONDATIONS

Pour gagner du temps, et respecter le planning contractuel, il a fallu travailler en forte « coactivité ».

D'abord, en amenant un premier atelier de paroi moulée de manière anticipée et en travaillant dans une zone aval, sur une bande à peine suffisante pour croiser les grues, alors que la paroi berlinoise était encore en cours d'exécution. Ensuite, en commençant tirants et clous de fretage dès la fin de la réalisation de la paroi moulée, alors que les deux ateliers de paroi moulée étaient encore en phase d'exécution des barrettes.

En période de pointe, sur une fouille de 3 000 m², on pouvait trouver deux hydrofraises, une benne à câble, une grue de manutention de 180 t, 4 foreuses de petite perforation, des engins de terrassement et une équipe de génie civil, le tout sur un site comportant plusieurs niveaux de plates-formes (photo 10).

CONTRAINTES LOCALES ET INSTALLATIONS

La tour Odéon présente un contexte très pénalisant, qui doit être pris en compte lors de l'organisation générale et quotidienne du chantier :

→ Le manque de place : depuis le démarrage du chantier, la place dis-

4- Une micro-berlinoise de 12 m sur une berlinoise de 20 m.

5- Une paroi complète le soutènement autostable de 40 m de hauteur dégagée.

4- A 12-metre micropile Berlin wall on a 20-metre Berlin-type retaining wall.

5- A wall completes the free-standing retaining structure of 40-metre clear height.

ponible a été utilisée au maximum, en utilisant autant d'engins que possible, afin de tenir le délai imparti ;

→ La logistique : le chantier est situé en partie haute de Monaco, et l'accès se fait par une rue à sens unique. Malheureusement, les accès sortants sont trop petits pour permettre le passage d'un semi-remorque. Les livraisons en semi ne peuvent avoir lieu qu'avant 7 h 30 et après 19 h, en bloquant la rue à sens unique ;

→ L'environnement enfin, avec des restrictions d'horaires et de bruit, et une loi sur l'eau extrêmement contraignante.

Les contraintes de place nous ont amenés à réaliser des installations de chantier peu courantes : des bureaux et vestiaires de 5 étages au-dessus de la rue, et surtout des soutènements importants, afin de dégager une emprise au sol importante pour la centrale de traitement de la boue bentonitique et son stockage (1 300 m³) (photo 11).

MÉTHODES ET INNOVATIONS

TIRANTS

Diverses méthodes de perforation ont été utilisées pour réaliser les tirants, selon le terrain rencontré, l'impact sur les avoisinants, la productivité : méthode tubée Odex, marteaux fond de trou, tricône, et le *sonic drilling*. Il a fallu s'adapter constamment pour sélectionner les meilleures méthodes selon les zones et les horizons traversés.

PAROI MOULÉE - GÉOTHERMIE

Compte tenu de la dureté du marmocalcaire, les parois moulées ont été réalisées avec des hydrofraises. Ces équipements permettent de traverser les terrains les plus durs sans vibrations, tout en garantissant un contrôle de la

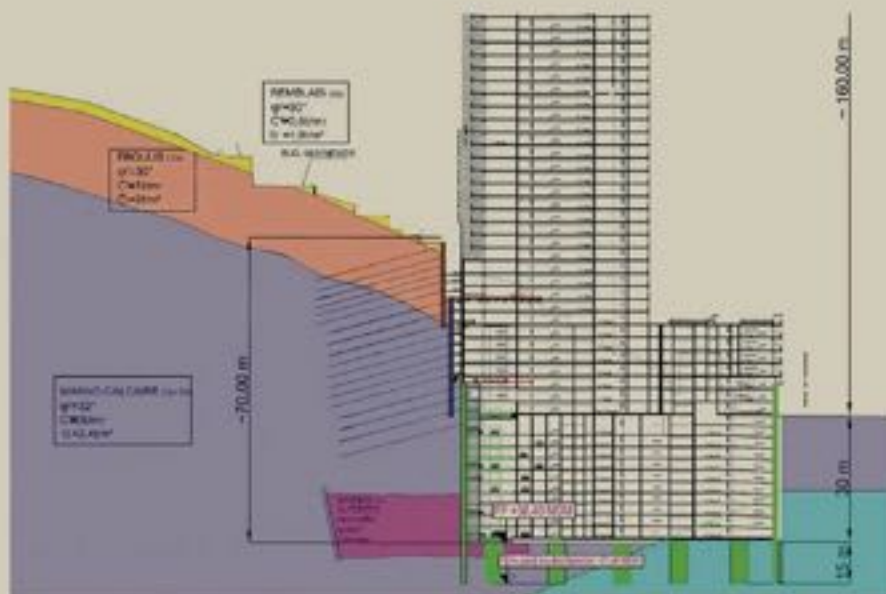
verticalité. Pour ce projet, et afin d'obtenir un gabarit de parking utilisable à tous niveaux, la tolérance d'exécution a été fixée à 0,25 %. L'utilisation d'un système comportant des capteurs fins et redondants, donnant aux grutiers des informations en temps réel, couplé à la possibilité de corriger la trajectoire de la fraise, permet de rester dans la faible tolérance du projet.

La hauteur du soutènement (70 m de haut lors de la réalisation du radier du parking) et les surcharges dues au profil en terrasse des terrains situés en amont du projet, provoquent des efforts considérables dans la paroi moulée et les contreforts. Cela conduit à des cages d'armatures très lourdes, jusqu'à 56 t. En raison des contraintes de place et de logistique (voir plus haut), les éléments de cages ont été préfabriqués à Nice et amenés par la route en longueur maximale de 14 m. La cage définitive était constituée de plusieurs de ces éléments, jusqu'à 15, à liaisonner verticalement et horizontalement. Certains équipements ont été extrêmement longs (une quinzaine d'heures), avec deux grues de manutention à coordonner.

Dans l'optique d'optimiser la consommation énergétique de la tour, un réseau de tubes géothermiques a été mis en place dans les fiches des parois et des barrettes.

COUPE DE L'ENSEMBLE DES SOUTÈNEMENTS

6



6- Coupe de l'ensemble des soutènements.

7- Maillage du modèle 3D.

8- Un exemple de résultats du modèle 3D – soulèvement du fond de fouille.

9- Un gigantesque « hérissron ».

6- Cross section of all the retaining structures.

7- 3D model meshing.

8- An example of results of the 3D model – uplift of the bottom of excavation.

9- A huge compacted fill.

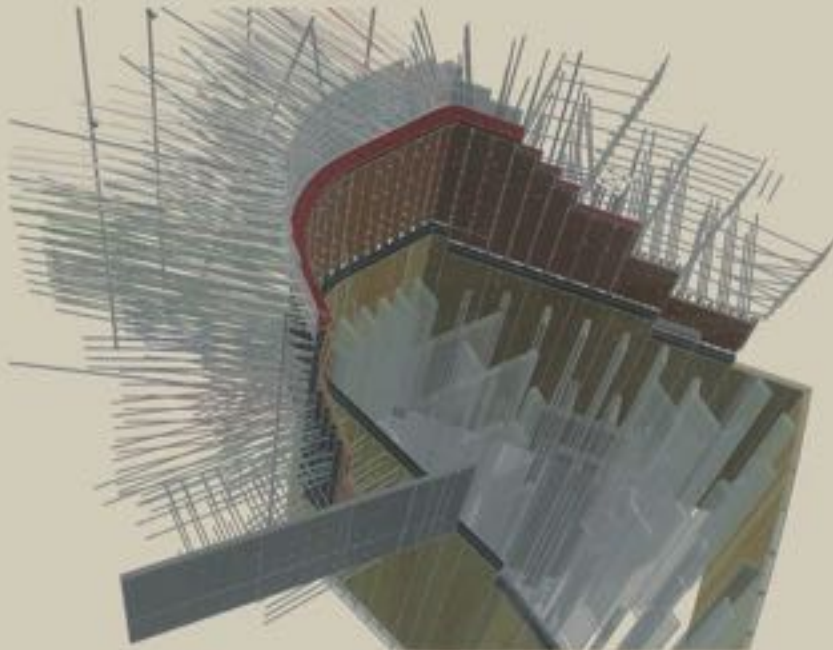
MAILLAGE DU MODÈLE 3D

7



UN GIGANTESQUE « HÉRISRON »

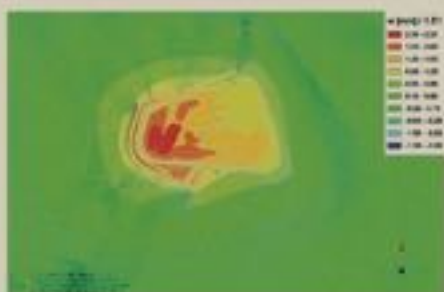
9



UN EXEMPLE DE RÉSULTATS DU MODÈLE 3D

8

Soulèvement du fond de fouille



Quand le terrassement arrivera au niveau du dernier sous-sol, ils seront récupérés et connectés à une pompe à chaleur.

RÉALISATION DES CLOUS DE FRETAGE

Les clous de frettage sont nécessaires pour améliorer la butée de la paroi dans une zone supposée de faibles caractéristiques. Nécessaires dès les premières phases du terrassement en taupe, les

clous ont dû être réalisés avant le niveau de la dalle de transition, soit entre 55 et 40 m de profondeur. Afin de ne pas pénaliser le terrassement avec des clous métalliques, il a été choisi de réaliser ces clous en fibre de verre. Faciles à casser par un engin de terrassement, ces clous sont en revanche plus difficiles à mettre en œuvre car ils sont constitués de 3 fois 2 plats disposés autour d'un flexible d'injection. Leur inertie étant trop importante pour les

enrouler, ils ont donc été assemblés sur chantier, dans des « garages verticaux » de 55 m installés dans des éléments de paroi moulée (contreforts).

ALÉAS GÉOLOGIQUES

La géologie nous a réservé quelques surprises : les barrettes et les parois s'ancrent dans du marno-calcaire, avec une zone localisée présentant un calcaire très dur. Le calcaire de cette zone s'est d'abord avéré fracturé,

altéré, avec des circulations souterraines et des karsts. Les pertes de boues répétitives nous ont contraints à réaliser un chantier dans le chantier : 3 mois d'injections afin de combler les vides et diminuer les pertes. Suite à ces travaux complémentaires, il a été possible de reprendre les travaux d'excavation de la paroi moulée. Ensuite, la campagne de reconnaissance, malgré sa densité, n'avait pas permis d'identifier précisément le toit



10



11

du substratum : au lieu d'un plateau situé vers le niveau de la mer, nous avons rencontré deux plateaux. Entre ces deux plateaux, un décroché de 20 m de hauteur, quasi vertical. Après justification, le dimensionnement de ces barrettes a dû être modifié pour prendre en compte le bon terme de pointe fourni par le calcaire.

À SUIVRE...

De septembre à février 2012, les activités de gros-œuvre ont pris progressivement leur place au fur et à mesure

du départ des ateliers de fondations. Après la livraison de la dalle de rez-de-chaussée, les travaux de la tour ont débuté.

À l'heure actuelle, le coffrage grim pant est monté, et devrait prendre rapidement son rythme de croisière d'un étage par semaine.

En taupe, le terrassement a débuté, et les premiers coffrages suspendus sont assemblés, avec pour objectif un niveau par mois.

Rendez-vous en juillet 2014 pour la livraison de cette tour ! □

10- Multiplication des ateliers.

11- Installation de la centrale à boue en terrasses.

10- Large quantity of equipment.

11- Installation of the slurry mixing plant on terraces.

QUANTITES (FONDATIONS ET SOUTÈNEMENTS)

PAROI MOULÉE ET BARRETTES

ÉPAISSEUR 0,82 m :
24 000 m²

38 PIEUX Ø 1 m : 1 200 ml

BÉTON : 22 000 m³

ARMATURES BÉTON ARMÉ :
2 000 tonnes

TIRANTS 180 t MAXI : 18 km

TERRASSEMENT : 68 000 m³
+ 75 000 m³ en taupe

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SCI Odéon / groupe Marzocco

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Cabinet d'architecte Alexandre Giraldi

BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES : Coyne et Bellier

BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Groupement Soletanche SAM, GTM Sud, GTM TPCA, SGTM, Triverio.

BUREAUX D'ÉTUDE D'EXÉCUTION : Soletanche Bachy et Vinci Construction France.

ABSTRACT

THE ODEON TOWER, A NEW CHALLENGE IN MONACO

JOSEPH LAVISSE, SOLETANCHE BACHY - SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY - EMMANUEL ROBERT, SOLETANCHE SAM

Since 2009, the teams of Soletanche Bachy and Vinci Construction France have performed a whole range of geotechnical work to build in Monaco a tower 170 m high, with 10 underground parking levels.

This project, carried out on steeply sloping land, began with the execution of an asymmetric excavation 42 m high, to clear the land area for the tower and construct the tower foundations and the parking lot enclosure.

This project, carried out to a very tight schedule, is subject to very severe geological, architectural and logistic constraints. □

LA TORRE ODEON, UN NUEVO DESAFÍO EN MÓNACO

JOSEPH LAVISSE, SOLETANCHE BACHY - SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY - EMMANUEL ROBERT, SOLETANCHE SAM

Desde 2009, los equipos de Soletanche Bachy y Vinci Construction France llevan a cabo un amplio conjunto de obras geotécnicas para erigir en Mónaco una torre de 170 metros de altura con 10 niveles de parking subterráneos.

Construido sobre un terreno de fuerte pendiente, el proyecto arrancó con la realización de una excavación asimétrica de 42 metros de altura para despejar el terreno de la torre y realizar los cimientos de la torre y el recinto del parking.

Este proyecto, basado en un calendario muy ajustado, supone un gran reto en términos geológicos, arquitectónicos y logísticos. □



1- Projection de béton fibré sur une passe au sein des molasses.

1- Fibre-reinforced shotcreting on a passage through molasses.

© ARCADIS

CONSTRUCTION D'UNE ISSUE DE SECOURS À LA STATION DE MÉTRO CAPITOLE À TOULOUSE

AUTEUR : AGNÈS MARCON, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN – RESPONSABLE DE LA CONCEPTION ET DU SUVI TRAVAUX DU Puits, ARCADIS TOULOUSE

LE PROJET D'EXPLOITATION DE LIGNE A DU MÉTRO DE L'AGGLOMÉRATION TOULOUSAINNE AVEC DES RAMES À 52 M NÉCESSITE LA CRÉATION D'UNE ISSUE DE SECOURS COMPLÉMENTAIRE DE LA STATION DE MÉTRO CAPITOLE. CETTE ISSUE DE SECOURS SE COMPOSE D'UN NOUVEAU Puits CONSTRUIT À L'ARRIÈRE DU Puits THÉÂTRE EXISTANT ET ENTRE LES TUNNELS DU MÉTRO EN EXPLOITATION.

Afin de répondre aux objectifs de mise en sécurité et de s'affranchir des contraintes du site (métro en exploitation, avoisinants, présence de la nappe alluviale), la solution retenue a consisté à réaliser un puits circulaire de 5,50 m de diamètre et d'une hauteur de 16,70 m. Ce dernier a été creusé à l'abri d'un pré-soutènement constitué de pieux sécants de 0,60 m de diamètre, et revêtu d'une coque en béton

projeté armé de 0,25 m d'épaisseur. Les accès souterrains entre la base du puits et la station elle-même sont assurés par des galeries creusées selon la méthode traditionnelle avec pose de cintres définitifs.

PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION

La Communauté Urbaine du Grand Toulouse (CUGT) a lancé la phase définitive du réaménagement de la rue Alsace

Lorraine dans l'hyper-centre de Toulouse. Les travaux sont programmés pour 2011/2012.

Ce réaménagement général comprend notamment celui du square Charles de Gaulle dans lequel s'insère une partie des accès à la station Capitole de la ligne A du métro.

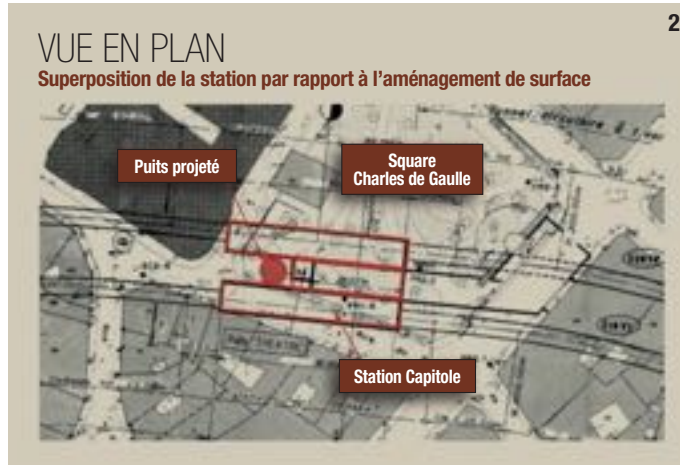
D'autre part, TISSEO (exploitant du réseau de transports en commun toulousains) a pour projet la mise en exploitation en rames de 52 m de la ligne A.

Le programme de cette opération prévoit la mise en conformité des stations en ce qui concerne le nombre de dégagements réglementaires, ce point visant notamment le quai central de la station Capitole. De plus, le programme prévoit la réhabilitation de l'ascenseur de la station permettant l'accès direct au quai central depuis l'extérieur. Afin de ne pas multiplier dans le temps les nuisances importantes sur cette zone de l'hyper-centre toulousain,

il est décidé que soit mise à profit cette période de travaux lourds sur 2011/2012 pour la réalisation anticipée des modifications de la station Capitole en interaction directe avec les infrastructures projetées sur le square Charles de Gaulle.

La création de cette issue de secours se situe donc dans le cadre de la mise en conformité anticipée de la station en matière de dégagement qui s'imposera lors de sa mise en exploitation à 52 m. En effet, la réglementation de sécurité contre l'incendie relatif aux établissements recevant du public GA (gares accessibles au public) requiert la présence de 2 dégagements pour les emplacements où le public stationne et transite, exigence qui s'applique notamment aux quais de station. La définition et le dimensionnement de ce nouveau dégagement qui sera conçu comme une simple issue de secours (et non d'accès fonctionnel au public) devront prendre en compte des conditions d'exploitation à 52 m de la station.

Ces travaux menés conjointement à ceux du réaménagement du square Charles de Gaulle, imposent une obligation de forte de coordination.



© ARCADIS

2- Vue en plan - superposition de la station par rapport à l'aménagement de surface.

3- Vue en plan du projet niveau quai.

2- Plan view - superposition of the station over the surface developments.

3- Plan view of the project at platform level.

OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Les objectifs affichés par le maître d'ouvrage, la Société de la Mobilité et de l'Agglomération Toulousaine (SMAT), sont :

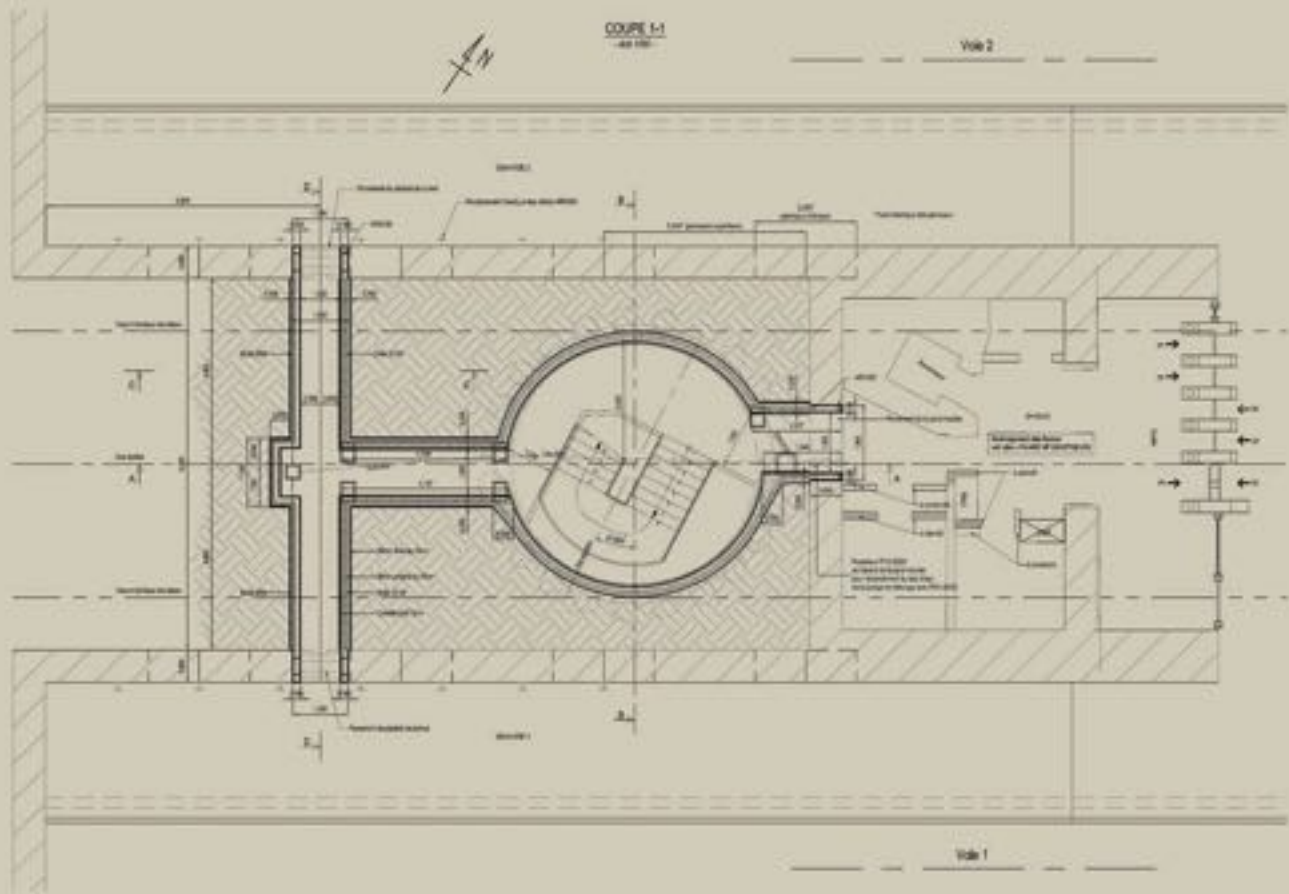
- Une future exploitation à 52 m ;
- Un impact mineur sur l'exploitation pendant les travaux ;
- La conformité à la réglementation en vigueur en matière de sécurité (réglementation GA) et d'accessibilité.

SOLUTION DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE : UN NOUVEAU PUIITS CIRCULAIRE

Afin de répondre aux objectifs imposés par le maître d'ouvrage, et dans le cadre de l'application du Règlement de sécurité contre l'incendie relatif aux établissements recevant du public - Établissements de type GA (gares accessibles au public), la solution la mieux adaptée consistait en la création d'un nouveau puits circulaire construit contre celui existant (puits Théâtre). Il a été positionné, dans l'axe longitudinal de la station de métro, entre le puits Théâtre et la voûte enterrée accueillant le poste électrique P4 du Donjon du Capitole, et entre les deux tunnels du métro selon l'axe transversal (figure 2). Le puits est relié aux quais par 3 accès au travers de galeries souterraines (figure 3). Une galerie vers le puits Théâtre, et 2 autres en forme de T vers les quais non exploités à ce jour.

La solution retenue porte sur le choix de soutènement, défini au regard des contraintes de site, du contexte géologique et hydrogéologique, de la nature du projet (fouille de grande hauteur) et du contexte urbain. ▷

VUE EN PLAN DU PROJET NIVEAU QUAI



© ARCADIS

**CONTEXTE GÉOLOGIQUE
ET HYDROGÉOLOGIQUE**

De par sa situation dans le centre ancien de Toulouse, le site du Capitole est recouvert par 4 m de remblais au sein desquels est enregistrée l'histoire de la ville depuis la période romaine.

Ces remblais masquent les alluvions des basses terrasses de la Garonne ; celles-ci se composent d'alluvions fines limoneuses décalcifiées généralement peu compactes, recouvrant des graves à matrice sablo-limoneuse compactes ; l'épaisseur totale de ces alluvions, au droit du projet est d'environ 3 m.

Ces alluvions reposent sur le substratum molassique d'âge Oligo-Miocène qui comble sur plusieurs centaines de mètres toute la partie centrale du Bassin Aquitain.

Dans la région de Toulouse, ces molasses sont d'origine fluviatile et sont essentiellement constituées par des argillites plus ou moins mameuses à signification de limon de crues.

Ces argillites sont parcourues par des chenaux sableux sinueux et d'épaisseur métrique à pluri-métriques ; des petits bancs calcaro-marneux d'origine pédogénétique arment épisodiquement ces argillites.

Le substratum molassique présente généralement en tête une frange métrique d'altération moyennement compacte.

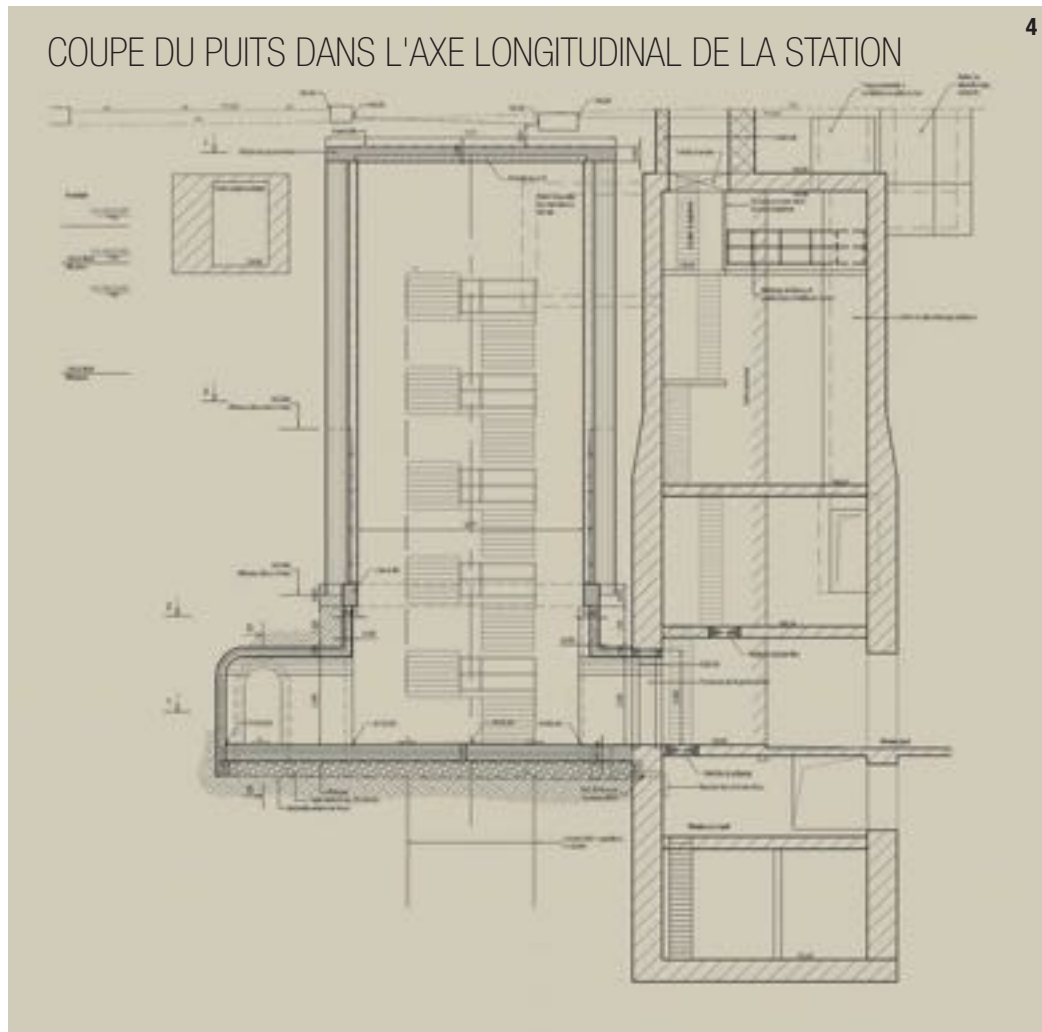
Les caractéristiques mécaniques des formations rencontrées sont synthétisées dans le Tableau 1.

D'un point de vue hydrogéologique, les alluvions de la basse terrasse de la Garonne renferment une nappe baignant la base des graves en s'écoulant au toit du substratum molassique réputé imperméable.

Les chenaux sableux de la molasse sont susceptibles de renfermer des niveaux aquifères semi-captifs.

Pour les projets impliquant l'interface alluvions/molasse, il convient très généralement de vérifier la présence de chenaux sableux aquifères qui pourraient être en communication avec la nappe alluviale de la basse terrasse. Par ailleurs, ces faciès peuvent présenter des problèmes de stabilité en fouille. Deux sondages ont été spécifiquement réalisés au droit du puits pour les études de conception. Ils ont permis de révéler la présence, sous la cote du futur radier, d'une lentille sableuse d'au moins 7 m d'épaisseur et recon nue jusqu'en fond de forage qui ne s'est pas révélée être en contact avec la nappe des alluvions.

Un niveau d'eau au sein de cette len-



COUPE DU PUIS DANS L'AXE LONGITUDINAL DE LA STATION

4

© AFRCADIS

tille sableuse a été mesuré au niveau du radier de la station, vers 20 m de profondeur, confirmant l'absence de relation directe avec la nappe alluviale dont le niveau aquifère est compris entre 3 et 5 m de profondeur selon les saisons, et pourrait traduire le drainage de cette lentille par les ouvrages de la ligne A depuis sa construction. Les niveaux d'eaux pris en compte dans les études du métro de la ligne A sont les suivants :

- **Eaux exceptionnelles :**
140,00 NGF soit à - 3 m/TN ;
- **Hautes eaux :**
139,50 NGF soit à - 3,5 m/TN ;
- **Basses eaux :**
137,50 NGF soit à - 5,5 m/TN.

4- Coupe du puits dans l'axe longitudinal de la station.

4- Cross section of the shaft on the longitudinal axis of the station.

UN SITE TRÈS CONTRAINT

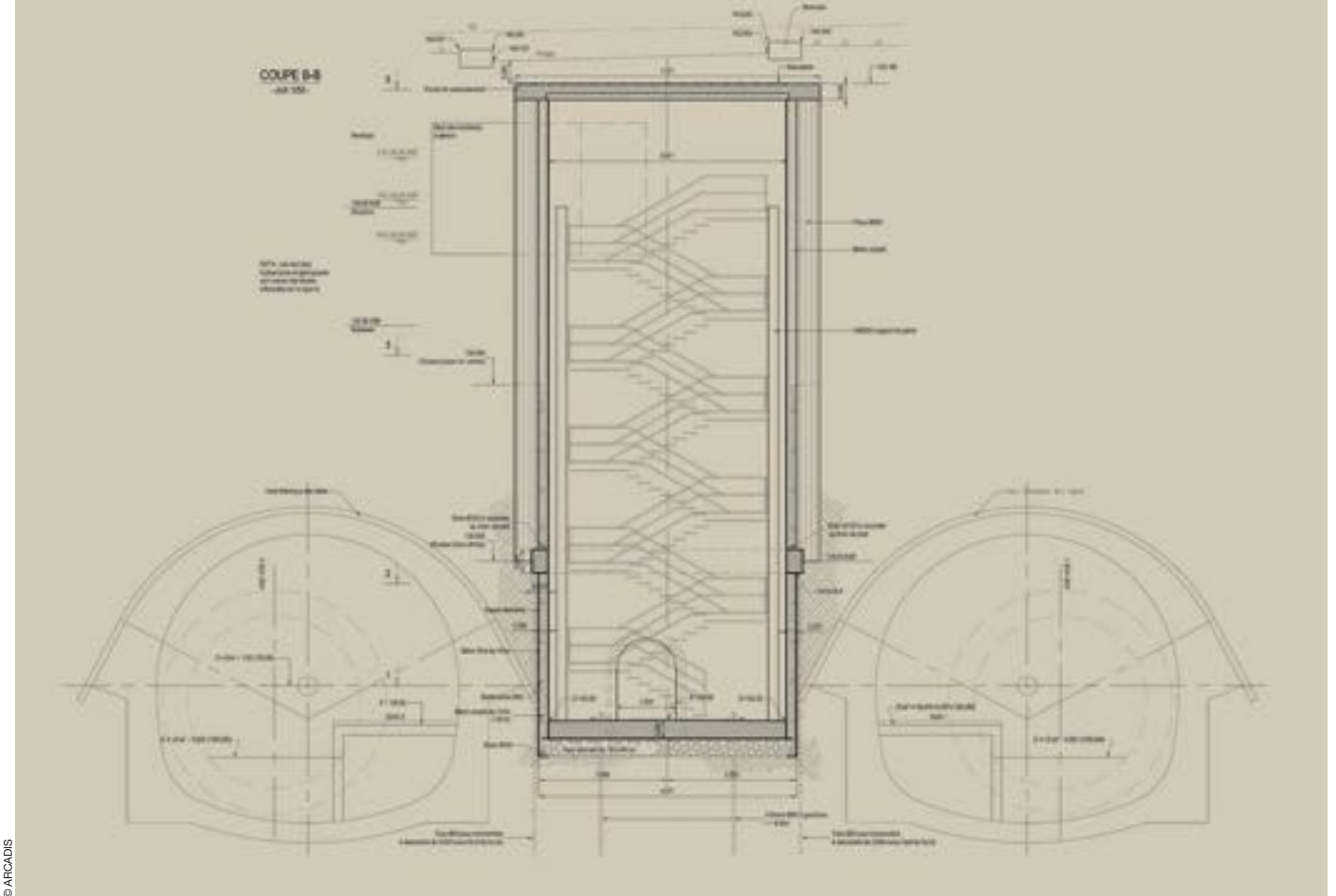
La construction d'un puits en site urbain, à proximité immédiate des tunnels du métro est soumise à de nombreuses contraintes :

- L'emprise nécessaire à la réalisation du nouveau puits est particulièrement réduite aussi bien en tête qu'en pied ;
- Limite d'emprise des tubes de la station (figure 5) : des incertitudes subsistent quant à la construction des tubes de la station existante. En effet, d'après les études d'exécution transmises, les tubes de la station ont été construits à la hache. La partie centrale de la station a été excavée selon une méthode traditionnelle avec la pose de cintres ;
- La présence d'avoisnants à proximité du projet : la position de ce puits est contrainte par l'existence de la voûte en maçonnerie dans laquelle est installé le poste électrique P4 du Donjon

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES FORMATIONS RENCONTRÉES

	γ (kN/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)	PI (MPa)	EM (MPa)*
Remblais	20	25	0	0,4 à 0,7	2 à 7
Alluvions graves sableuses	21	36	0	> 2,7 à > 3,3	50
Molasse sablo-argileuse	22	32	30	4,4 à > 4,8	63 à 137
Molasse sableuse	21	35	0		

COUPE DU PUITTS DANS L'AXE TRANSVERSAL DE LA STATION



alimentant en électricité les différentes installations du square Charles de Gaulle et du Capitole (figure 4) ;
 → La présence de la nappe alluviale à faible profondeur.

LE SOUTÈNEMENT DU PUITTS

Au regard des contraintes de site, du contexte géologique et hydrogéologique, et de la nature du projet (fouille de grande hauteur en milieu urbain), la solution la mieux appropriée au contexte est un puits circulaire composé de pieux sécants ancrés dans les molasses peu perméables afin d'assurer l'étanchéité de la fouille sur la hauteur des alluvions, puis soutenu par un voile de béton projeté armé au droit des molasses.

De par sa forme cylindrique en silo, le soutènement est autostable. Aucun dispositif de soutènement provisoire n'est requis lors des travaux de terrassement de la fouille.

Compte tenu de la présence des tunnels du métro et de leur proximité par rapport au projet, il était impossible de prendre le risque de poursuivre le

soutènement en pieux sécants jusqu'en fond de fouille (figure 5).

Toutefois, la présence de molasses argilo-sableuses compactes a permis d'envisager de réaliser une simple coque en béton projeté armé d'une épaisseur totale de 25 cm.

Une première couche de béton projeté fibré de 10 cm est mise en œuvre contre le terrain pour assurer la stabilité des terres le temps de mettre en place un dispositif de drainage. Le revêtement définitif sera réalisé par projection d'un béton projeté armé.

5- Coupe du puits dans l'axe transversal de la station.

5- Cross section of the shaft on the transverse axis of the station.

LES GALERIES SOUTERRAINES

Liaison inter-quais. Pour réduire les effets de cul-de-sac en configuration 52 m de la station, les extrémités de quais doivent être désenclavées par l'intermédiaire d'une galerie souterraine vers l'issue de secours. Elle aura une largeur minimale de 1 unité de passage (1 UP), soit 0,90 m.

Compte tenu de l'exiguïté de la galerie, elle sera creusée depuis le puits en méthode traditionnelle à l'aide de matériels légers en accord avec les dimensions réduites de la galerie et la proximité des tunnels du métro.

Ces galeries sont creusées au sein des molasses. La stabilité de la voûte est assurée par une première couche de béton projeté fibré pouvant être associée à la pose de cintres selon la tenue des terrains. Un dispositif de drainage (nappe drainante et barbacanes) sera mis en place contre le parement avec un système de collecte des eaux en pied. Le revêtement définitif sera réalisé par projection d'un béton projeté, armé.

Accès entre les deux puits. L'accès depuis la station par l'intermédiaire

du puits Théâtre existant nécessite le découpage des parois moulées du puits existant.

Radier. Compte tenu du contexte géotechnique, il a été envisagé de réaliser un dallage sur tapis drainant composé de matériaux de type GNT sur une épaisseur de 0,35 à 0,5 m avec un réseau de drains dimensionnés selon les débits interceptés et associés à des drains de décharge.

TRAVAUX ET RÉALISATION

Suite à la consultation des entreprises, le lot relatif à la réalisation du puits a été attribué au groupement d'entreprises GTM/SOGEA sur la base de cette solution.

INSTRUMENTATION

Compte tenu de la sensibilité des avoisinants (métro en exploitation, voûte enterrée), des mesures préventives basées sur l'auscultation ont été mises en place. Ainsi, les tunnels du métro ont été équipés de cibles topographiques afin de s'assurer de l'absence de mouvement au moyen de la méthode convergence. ▷



6



7



8

6- Fouilles archéologiques au droit du futur puits.

7- Exécution du soutènement en pieux sécants.

8- Excavation du puits à l'abri du soutènement en pieux sécants.

6- Archaeological excavations at the location of the future shaft.

7- Execution of the secant-pile retaining structure.

8- Excavation of the shaft sheltered by the secant-pile retaining structure.

Les bâtiments avoisinants, comme le Donjon du Capitole, ont également été équipés de cibles.

FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES

En préalable des travaux, des fouilles archéologiques conduites par l'INRAP ont été réalisées sur l'emprise du puits. Outre des vestiges de murs antiques et autres matériels tels que des céramiques, des pièces en bronze, ces fouilles ont mis en évidence un léger décalage de la voûte enterrée

accueillant le poste électrique du Capitole ainsi que ses contreforts en briques foraines, non reportés sur le plan en notre possession, entrant en interférence avec les pieux du puits (photo 6).

RÉALISATION DU PUIITS

En réponse à ce premier aléa, il a été convenu de s'éloigner de ces contreforts. La possibilité « d'éloignement » était toutefois extrêmement limitée du fait de la proximité des tunnels du métro et du puits Théâtre ; l'axe du puits a ainsi été

décalé de 0,50 m vers le puits Théâtre, parallèlement aux axes des tunnels. Ce déplacement étant insuffisant, il a également fallu réduire le diamètre du puits de 0,5 m. Le diamètre fini est donc passé de 6 m à 5,50 m sachant que le diamètre minimal admissible pour installer l'escalier est de 5,30 m. Dans ces nouvelles conditions, un défaut d'implantation de 10 cm cumulé à un défaut de verticalité de 2 cm/m ne pouvaient plus être admis. Ces 2 valeurs spécifiées au CCTP ont dû être revues

à la baisse ; la tolérance d'implantation admissible a été limitée à 5 cm et le défaut de verticalité maximale ramené à 1 cm/m.

Ces tolérances de prime abord sévères, sont réalistes du fait du matériel utilisé, de l'expérience des servants, et des terrains traversés. La technique de pieux sécants réalisés à la tarière creuse est monnaie courante dans la région toulousaine, les terrains y étant favorables. Toutefois, afin de mieux contrôler la verticalité des forages, le groupement



9- Excavation des galeries au brokk.

10- Amorce du percement des tunnels existants - présence des cintres provisoires mis en œuvre lors du creusement des tunnels existants.

11- Édicules de sortie ascenseur et escalier de secours.

9- Excavation of galleries by Brokk machine.

10- Start of drilling of the existing tunnels - presence of temporary centres set up when driving the existing tunnels.

11- Roof structures for elevator exit and emergency stairs.

Lors de la réalisation du soutènement en pieux sécants (photo 7), aucun incident ne s'est produit.

Les terrassements du puits (photo 8) ont permis de vérifier la parfaite verticalité des pieux, et la bonne exécution du soutènement par l'absence de venues d'eau entre les pieux sécants.

Le suivi des cibles d'auscultation a révélé aucun mouvement dans les structures équipées.

Les terrassements se poursuivant sous les pieux sécants, la stabilité du pied des pieux a été assurée par une lierne en béton armée.

Au-delà des pieux, le terrassement est effectué par petites passes de l'ordre de 1 m de hauteur dans les molasses. Les sondages ayant montré la présence de lentilles sableuses au sein de ces dernières sur la hauteur excavée, des craintes subsistaient quant à la possible instabilité des fouilles notamment en cas de venues d'eau.

Ainsi, la stabilité des parois a été assurée par la projection d'un béton fibré ainsi que par la pose d'une lierne provisoire le temps de réaliser le revêtement définitif de la structure (photo 1).

Fort heureusement, aucune arrivée d'eau n'est venue perturber les terrassements, et les parois n'ont montré aucun signe d'instabilité.

Le creusement du puits s'est donc poursuivi sans problème jusqu'au fond de fouille et surtout sans intercepter les soutènements provisoires des tunnels du métro.

Le revêtement définitif du puits, composé d'une coque de béton projeté armé, a été mis en place avant le creusement des galeries.

CREUSEMENT DES GALERIES

Une fois arrivées au fond du puits, les équipes de GTM/SOGEA se sont attelées au creusement des galeries. Les faciès molassiques essentielle-

ment sableux, ont inquiété les équipes de l'entreprise et de la Maitre d'Œuvre. Pour cette raison, il a été décidé de mettre en œuvre systématiquement des cintres définitifs de type TH espacés de 60 cm. Par précaution, les terrassements ont été réalisés au moyen de robot télécommandé (Brokk) (photo 9). Cette technique s'est avérée parfaitement adaptée à l'exiguïté de la galerie et à la mise en sécurité du personnel lors de ces travaux.

Arrivés au niveau des tunnels du métro, les terrassements ont mis en évidence le soutènement provisoire des tunnels du métro, à savoir des cintres métalliques (photo 10).

L'ouverture en bout de galerie a été réalisée par le biais d'une scie à câble diamanté, limitant les vibrations sur les tunnels existants.

À ce jour, les travaux de génie civil sont quasi terminés (photo 11). Le second œuvre (pose de l'escalier de secours (photo 12) pose de luminaires, remplacement de l'ascenseur dans la gaine existante) est déjà bien avancé, la fin des travaux étant prévue pour la fin du mois de juin 2012.

CONCLUSION

Les difficultés de ce projet résidaient pour l'essentiel dans la proximité des ouvrages souterrains existants de la ligne de métro en pied de puits, dans la présence de bâtiments anciens, dont certains enterrés, en tête, et du fait du voisinage des travaux de réaménagement du square.

GTM/SOGEA a proposé de remblayer la fouille laissée par les archéologues avec du béton liquide en lieu et place de la grave initialement prévue, cette solution ayant pour objectif de faciliter l'implantation et le guidage du forage dans sa partie initiale sensible aux risques de déviation.

En complément de cette adaptation, le contrôle de l'implantation des pieux a été accru ; leur verticalité a été en continue contrôlée par le foreur au moyen de l'inclinomètre.

© ARCADIS





© ARCADIS

12

12- Pose de l'escalier métallique.

12- Installing the metal stairs.

ce contexte délicat, avec la recherche et l'analyse de tous les documents retraçant la construction de la ligne de métro.

Le seul aléa ayant un impact sur la conception du puits fut la découverte de contreforts associés à la voûte enterrée qui a conduit à réduire le diamètre du puits.

La bonne maîtrise de ces contraintes a permis de conduire les travaux dans le respect des délais et de l'enveloppe financière initiale. □

La réussite du projet réside pour l'essentiel dans la prise en compte dès les phases initiales de conception de

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Société de la Mobilité de l'Agglomération Toulousaine (SMAT)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : ARCADIS (mandataire – agence de Toulouse) / BETEM Ingénierie / AZEMA Architectes

ENTREPRISES :

- Lot 1 - Fondations spéciales, terrassement, gros-œuvre, étanchéité et réseaux divers : GTM / SOGEA SO (sous-traitants : Gasparini, Cofex Littoral, ...)
- Lot 2a - Serrurerie, menuiserie : ARTEL
- Lot 2b - Serrurerie fine, vitrerie, signalétique : ARTEL
- Lot 3 - Climatisation, ventilation, plomberie : BP2C
- Lot 4 - Électricité, courants forts, courants faibles : FONTANIE
- Lot 5 - Ascenseur : SCHINDLER
- Lot 6 - Revêtement, peinture : TECHNI CERAM
- Lot 7 - Équipements liés au système : SIEMENS
- Lot 8 - Terrassements pour reconnaissance archéologique : SOGEA

BUREAU DE CONTRÔLE TECHNIQUE : SOCOTEC

COORDONNATEUR SPS : SOCOTEC

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

- DURÉE DES TRAVAUX DE RÉALISATION DU PUIITS :** 3 mois
- DURÉE DES TRAVAUX DE CREUSEMENT DES GALERIES :** 3 mois
- MONTANT DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL (LOT 1) :** 1,5 M€
- DIAMÈTRE INTÉRIEUR FINI DU PUIITS :** 5,50 m
- HAUTEUR DU PUIITS :** 16,7 m

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF AN EMERGENCY EXIT FOR THE CAPITOLE METRO STATION IN TOULOUSE


AGNÈS MARCON, ARCADIS

The plan to operate Line A of the Toulouse urban metro with 52-metre train sets requires the creation of an additional emergency exit for the Capitole metro station. This emergency exit consists of a new shaft built to the rear of the existing Théâtre shaft and between the metro tunnels in service. To comply with safety objectives and overcome the site constraints (metro in service, neighbours, presence of an alluvial sheet), the solution adopted was to build a circular shaft 5.50 m in diameter and 16.70 m high. The shaft was dug sheltered by a preliminary retaining structure consisting of secant piles 0.60 m in diameter, and lined with a reinforced shotcrete shell 0.25 m thick. Underground access between the base of the shaft and the station itself is provided by galleries dug by the conventional method, placing permanent centres in position. □

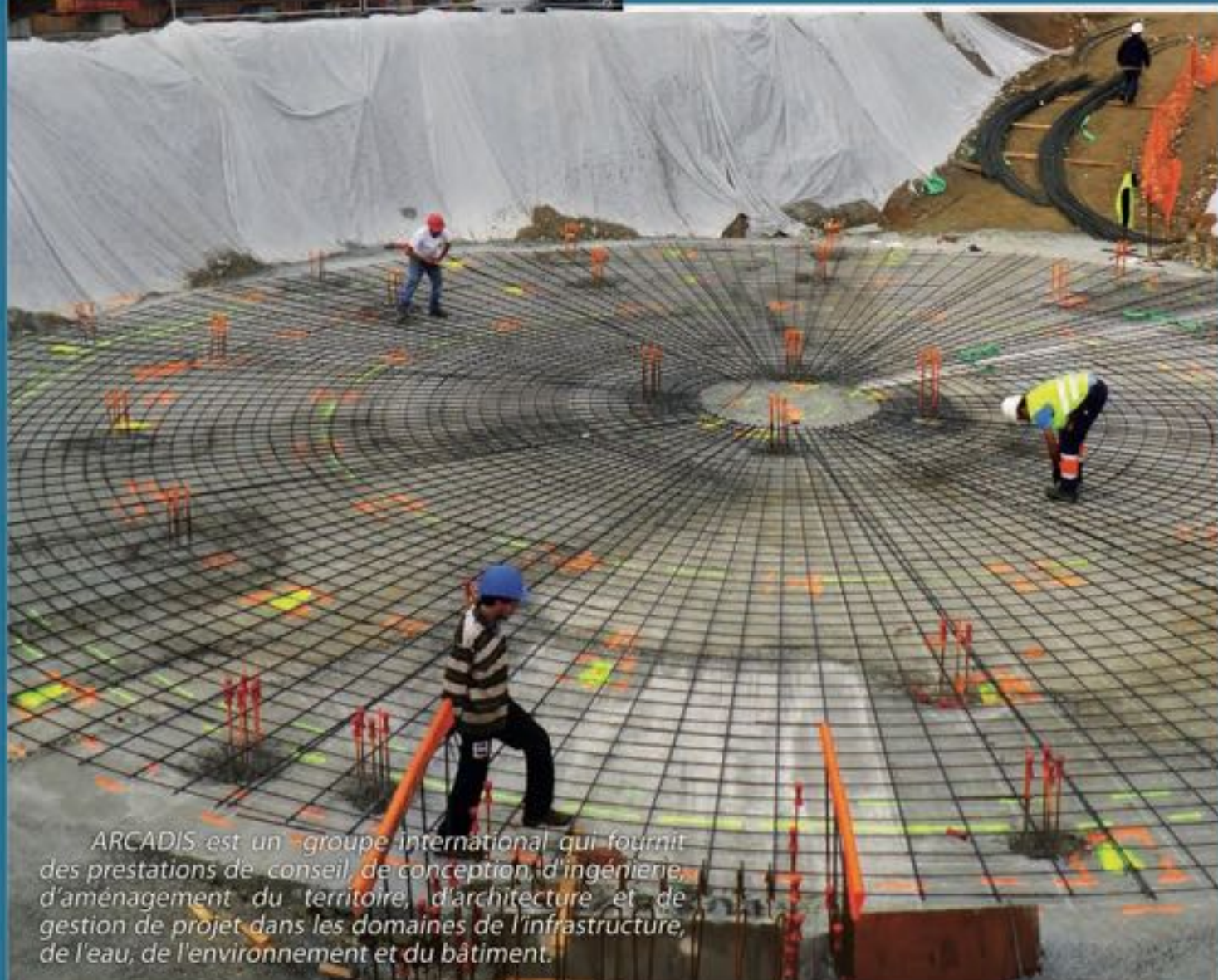
CONSTRUCCIÓN DE UNA SALIDA DE EMERGENCIA EN LA ESTACIÓN DE METROCAPITOLE DE TOULOUSE

AGNÈS MARCON, ARCADIS

El proyecto de explotación de línea A del metro de la aglomeración de Toulouse, con convoyes de 52 metros, requiere la creación de una salida de emergencia adicional en la estación de metro Capitole. Dicha salida de emergencia estará formada por un nuevo pozo, construido detrás del pozo Théâtre existente y entre los túneles del metro en funcionamiento. Para responder a los objetivos de seguridad y superar las restricciones de la ubicación (metro operativo, instalaciones próximas, presencia de la capa aluvial), la solución elegida consiste en perforar un pozo circular de 5,50 metros de diámetro y 16,70 metros de altura, protegido por un preencofrado formado por pilotes secantes de 0,60 metro de diámetro y revestido con un casco en hormigón proyectado armado de 0,25 metro de espesor. Los accesos subterráneos entre la base del pozo y la estación en sí discurrirán por galerías perforadas siguiendo el método tradicional, soportadas por cimbras definitivas. □



Construire un monde
responsable qui
préserve l'humain
et son environnement



ARCADIS est un groupe international qui fournit des prestations de conseil, de conception, d'ingénierie, d'aménagement du territoire, d'architecture et de gestion de projet dans les domaines de l'infrastructure, de l'eau, de l'environnement et du bâtiment.

Nous aspirons à accroître la mobilité et la qualité de vie en créant un cadre de vie durable en équilibre avec la nature.

Retrouvez les coordonnées de nos 10 agences en France
www.arcadis-fr.com

Imagine the result

**ARCADIS**
Infrastructure · Eau · Environnement · Bâtiment

FONDATEMENTS DU BAC DE STOCKAGE DE FIOUL N°9 DE LA CENTRALE THERMIQUE DE CORDEMAIS (44)

AUTEURS : OLIVIER DAVID, RESPONSABLE DU PÔLE GCSP DE L'AGENCE DE NANTES, ARCADIS - PIERRE-JEAN LEBASTARD, DIRECTEUR DE L'AGENCE NANTES TP – ETPO

EDF A ENGAGÉ EN 2011 LES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DE LA CAPACITÉ DE STOCKAGE DE FIOUL LOURD DU BAC N°9 SUR LA CENTRALE THERMIQUE DE CORDEMAIS (LOIRE-ATLANTIQUE). L'OPÉRATION CONSISTE À REMPLACER LE RÉSERVOIR D'ORIGINE PAR UN NOUVEAU RÉSERVOIR À DOUBLE PAROI MÉTALLIQUE DE 65 000 M³ ET 24 M DE HAUTEUR, CONFORME AUX DISPOSITIONS DE L'ARRÊTÉ DU 3 OCTOBRE 2010, RELATIF AUX STOCKAGES EN RÉSERVOIRS AÉRIENS DE LIQUIDES INFLAMMABLES. LA FUTURE INSTALLATION SERA OPÉRATIONNELLE EN 2013.



Le lot génie civil a été confié au groupement ETPO-BALINEAU-CHARRIER-ARCADIS. Les travaux ont consisté en la construction d'un radier en béton armé de 65,4 m de diamètre, associé à un renforcement du sol d'assise par 445 inclusions rigides métalliques ancrées au rocher. Les travaux ont débuté après la déconstruction de l'ancien réservoir en août 2011 ; le radier a été livré au lot construction métallique en mars 2012, dans le délai prévu.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE RÉALISÉ

Le système de renforcement conçu par ARCADIS est constitué de 445 tubes métalliques de diamètre 711 mm, de 12 mm d'épaisseur, ouverts, répartis suivant une maille moyenne de 7,6 m² et ancrés dans le substratum gneissique vers 25 à 35 m de profondeur. Les tubes sont coiffés par des platines métalliques carrées de 0,9 m de côté et de 40 mm d'épaisseur. Le radier est un ouvrage circulaire en béton

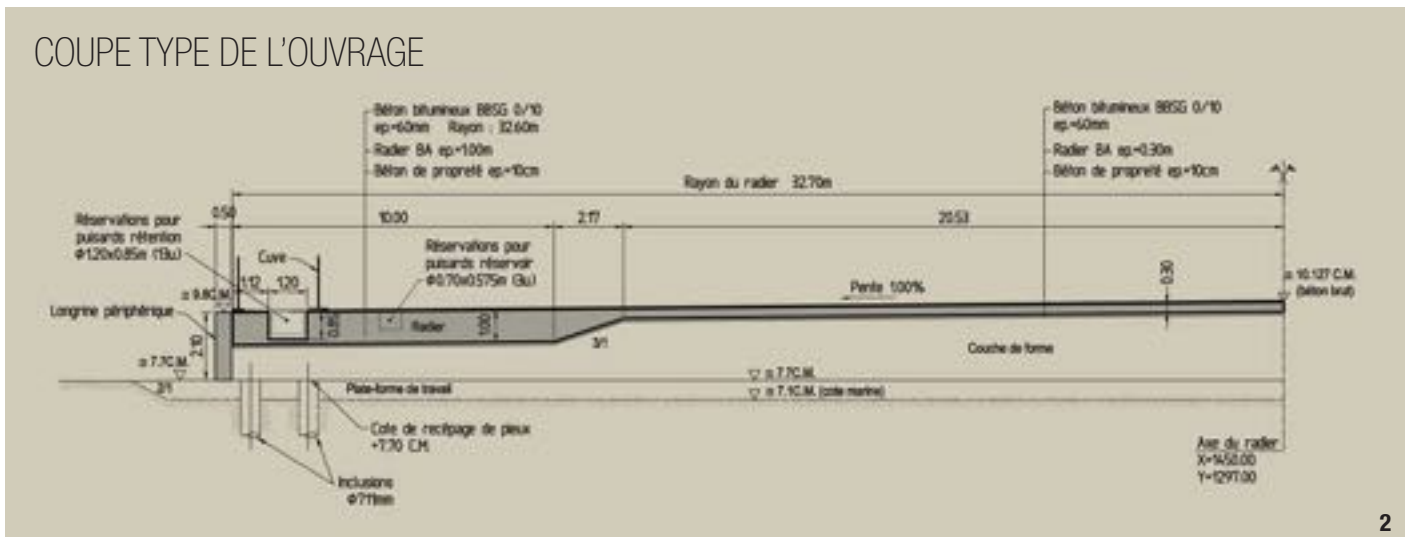
1- Premières mises en fiches.

1- Initial setting.

armé de 65,4 m de diamètre, d'une épaisseur de 1,0 m d'épaisseur sur la couronne extérieure et de 0,3 m en partie centrale, avec une pente radiale de 1 % vers la périphérie. L'ouvrage ne

comporte aucun joint. Il s'assoit sur un remblai granulaire de 1,0 m à 2,0 m d'épaisseur jouant le rôle de matelas de répartition. Le remblai est confiné par une poutre périphérique annulaire en béton armé de 0,5 m de largeur et 2,1 m de hauteur (figure 2). Les travaux ont en outre intégré le raccordement au réseau des ouvrages en béton armé et des inclusions périphériques, ainsi que la mise en place d'un enrobé en surface du radier.

COUPE TYPE DE L'OUVRAGE



2

LES ENJEUX ET CONTRAINTES DU PROJET

Le chantier a été en premier lieu contraint par les délais : la livraison du radier au lot construction métallique devait être effectuée en 7 mois pour respecter le phasage global de l'opération. Pour un chantier représentant près de 13 000 ml de pieu, 2 600 m³ de béton armé, 6 500 m³ de remblai et 280 T d'armatures, ce délai impliquait un enchaînement très strict des différentes phases de travaux, et laissait très peu de place aux divers aléas.

La reconstruction nécessitait une reprise complète du système de fondation, les fondations de l'ancien réservoir, laissées en place, n'étant pas en mesure de garantir le respect des tolérances de déformation pour le nouveau bac et la stabilité vis-à-vis du séisme. L'ancien réservoir, de 63 m de diamètre, s'appuyait sur 261 inclusions constituées de barrettes en coulis ballasté de 1,8 x 1,2 m, élargies sur les 3 m supérieurs à une section circulaire de 1,95 m de diamètre, et répartie suivant une maille hexagonale plus ou moins régulière, avec un entraxe de l'ordre de 4,15 m, complétées par une soixantaine de micropieux.

La zone des travaux, dans la cuvette de rétention du bac, induisait par ailleurs un risque de pollution potentielle et le marché imposait un contrôle strict et un tri des déblais prélevés dans les premiers mètres du terrain.

Enfin, les procédures et techniques employées dans l'enceinte de la centrale se devaient de respecter les exigences de sécurité du site, de minimiser les nuisances et de garantir l'absence de risques pour les ouvrages sensibles présents à proximité de la zone de travaux.

2- Coupe type de l'ouvrage.

3- Mise en fiche et battage des tubes.

2- Typical cross section of the works.

3- Tube setting and driving.

Les moyens de levage ont notamment dû être spécialement étudiés, le site étant particulièrement exposé aux vents.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET SISMIQUE

La centrale de Cordemais est implantée en rive nord de l'estuaire de la Loire ; le site résulte de la jonction naturelle de deux anciennes îles (Calotte et Nation) et d'un rattachement à la rive par une bande remblayée.

Il est caractérisé par des épaisseurs importantes et très variables d'alluvions argilo-sableuses à vasardes, compressibles, surmontant un substratum

gneissique plus ou moins altéré en tête. Le bac 9 se situerait au niveau de l'ancien bras mort qui séparait l'île de la Calotte et l'île de la Nation qui présente des épaisseurs de remblais globalement plus importantes que sur le reste du site.

La coupe lithologique mise en évidence au droit de l'ouvrage est la suivante :

→ Des remblais de sables moyens à grossiers, plus ou moins argileux, sur 2 à 4 m (VBS = 0,1 à 0,8, %_{<80µm} = 2 à 22, Wn = 10 à 17%, Pl* = 0,4 à 2,7 MPa, Em = 6 à 37 MPa, N_{SPT} = 10 à 14) ;

→ 18 à 30 m d'alluvions argilo-silteuses à argilo-vasardes à passages sableux, globalement peu consistantes (IP = 12 à 90, %_{<80µm} = 45 à 98, Wn = 20 à 95%, Pl* = 0,1 à 1,0 MPa, Em = 1,4 à 17 MPa, N_{SPT} = 0 à 6) ;

→ Localement, au contact du substratum, des sables alluvionnaires sur 4 à 10 m d'épaisseur, plus compacts (Pl* = 0,9 à 3,5 MPa, Em = 7 à 60 MPa) ;

→ Les gneiss d'altération variable, généralement arénisés à très décomposés en tête, puis très fracturés, compacts à très compacts (RQD 4 à 5, ID4

à ID5, Pl* = 3,5 à 8 MPa, Em = 35 à 320 MPa).

Une nappe superficielle est généralement présente vers 1,5 m de profondeur au sein des remblais et est peu influencée par la marée. Le site se place en zone de sismicité modérée (zone 3) et les équipements sont classés en catégorie d'importance III et à risque spécial. Quelques passages sableux au sein des alluvions ont été identifiés comme potentiellement liquéfiables.

CHOIX DU TYPE D'INCLUSIONS

Le choix de la technique des inclusions métalliques battues s'est basé sur une analyse comparative approfondie ; l'analyse de la mise en œuvre de la solution d'inclusions forcées en béton, dimensionnée dans l'étude géotechnique de projet, faisait en particulier ressortir certains points critiques :

→ La grande profondeur du substratum, qui imposait un matériel extrêmement puissant et grand, posant par là-même des sujétions de sécurité à proximité des réservoirs en service ;

→ La gestion des déblais (outre le risque de pollution) en volume important et une gestion des livraisons de béton en volume également important (camions, pelle, et toupies de béton en rotation) ;

→ La nécessité d'armer des inclusions toute hauteur ;

→ La présence de la nappe à faible profondeur engendrant des remontées de déblais boueux susceptibles d'entraîner une détérioration de la plate-forme de travail et donc des risques sur la stabilité de la machine ;

→ La présence de vestiges de fondation, en particulier les micropieux dont la présence est plus facile à gérer avec des inclusions tubulaires ;



3

→ Les inquiétudes d'une problématique de sur-profondeurs et de pendage du toit rocheux.

La version tubes métalliques ouverts battus apportait par conséquent des avantages importants dans le contexte de ce chantier :

→ Le matériel peut s'adapter à des sur-longueurs en procédant simplement à une enture d'une longueur de rajout ;

→ Le battage de tubes ouverts dispense de toute extraction et évacuation des matériaux pollués : les couches potentiellement affectées restent confinées en place sous le radier béton ;

→ Réduction de façon drastique les problèmes d'accès, de circulation, de distribution de nettoyage et pollution de surface, etc. ;

→ Meilleure souplesse envers les conditions météorologiques (température et pluie, principalement) ;

→ Moindre exposition aux aléas divers risquant d'impacter le délai global de l'opération.

Dans ce contexte, la solution « pieux battus » constituait l'approche méthodologique la plus apte à donner toutes garanties de pérennité à traiter des anomalies locales pouvant imposer d'aller chercher de refus à -34, -35 mètres – voire davantage.

Les incertitudes quant aux profondeurs d'ancrage dans le contexte d'un substratum de profondeur et d'altération très variables donnaient enfin au battage un atout primordial : chaque élément se trouve systématiquement assorti de sa propre « épreuve de validation de portance », puisque le critère d'arrêt de battage s'adosse sur l'obtention d'un refus prédéfini.

La technique imposait en revanche certaines contraintes dans le contexte technique et économique du marché. En premier lieu, des garanties ont dû être apportées vis-à-vis des vibrations entraînées par les outils de vibrofonçage et de battage et une instrumentation spécifique a été mise en œuvre. La maîtrise des coûts au moment de l'offre était aussi bien sûr une de ces contraintes, compte tenu des crispations permanentes et quasi-imprévisibles, à la hausse ou à la baisse, sur les prix de l'acier.

Les sources et délais d'approvisionnement constituaient cependant le paramètre le plus contraignant, eu égard au calendrier drastique du marché. L'entreprise a opté pour une fabrication « à neuf sur demande » de l'ensemble de la livraison requise, seule apte à apporter toutes les garanties géométriques, de quantités et de qualité,



mais toutefois assortie d'un délai de huit semaines entre la commande et la livraison sur chantier.

Ce délai imposait une commande dès le démarrage du chantier. Les études d'exécution pour le renforcement ont ainsi été anticipées et les services d'EDF ont été sollicités pour fournir les visas dans des délais extrêmement réduits. Au final, cette collaboration « accélérée » et gagnante entre EDF et le groupement, au tout démarrage de l'opération s'est avérée très bénéfique, puisqu'elle a assis les bases de communication et de confiance qui ont été une des clés de l'excellent déroulement du chantier.

JUSTIFICATION DES OUVRAGES

Les tolérances de déformation données par les pièces du marché étaient de 50 mm pour le tassement absolu sous charges statiques et de 10 mm/m pour le tassement différentiel.

La justification du système d'inclusions a d'abord été effectuée pour la maille élémentaire courante par un calcul aux éléments finis (logiciel PLAXIS), en déformation axisymétrique, en calant les frottements sur inclusions sur les valeurs données par le fascicule 62 titre V – frottements négatifs estimés par la méthode de Combarieu et courbes de frottement limite qs. Les résultats ont par ailleurs été validés par des approches analytiques de type « Frank et Zhao ».

La justification des inclusions au séisme s'est appuyée en grande partie sur les bases de conception définies par le bureau d'études Fondasol dans le cadre des études géotechniques de projet, à partir d'une analyse spectrale et d'un calcul en élasticité non linéaire 3D volumique avec prise en compte des lois de dégradation des sols.

Compte tenu de la symétrie de révolution du problème, les flexions et



4- Déchargement des tubes livrés par convois exceptionnels.

5- Coffrage de la poutre périphérique.

6- Mise en place du matelas de répartition à l'intérieur de l'anneau.

4- Unloading of tubes delivered by abnormal load transport.

5- Formwork of the peripheral beam.

6- Placing the load distributing mattress inside the ring.

les déformations dans le radier ont été appréhendées à l'aide du logiciel CESAR avec un modèle bidimensionnel en déformation axisymétrique.

Le renforcement du sol de fondation par les tubes métalliques a été pris en compte au moyen d'un modèle d'homogénéisation développé dans le cadre du projet CASTOR et implémenté dans le logiciel CESAR.

Ce modèle considère le milieu renforcé comme un milieu homogène multiphasique ce qui revient à superposer plusieurs milieux continus : les inclusions d'une part et le sol d'autre part.

La résolution se fait en supposant l'identité des déplacements de chacune des phases prises en compte.

Le modèle considère des lois de comportement élasto-plastiques tant pour le sol que pour les inclusions.

Dans le cas des inclusions, il tient compte de leur spécificité en leur associant des champs de contraintes unidirectionnels orientés suivant la direction du renforcement. Dans le cas du sol, la seule loi de comportement actuellement disponible fait appel à un critère de Drucker-Prager - qui se distingue de celui Mohr-Coulomb par une surface de rupture dont la trace dans le plan perpendiculaire à la droite isotrope dans l'espace tridimensionnel des contraintes est un cercle alors qu'elle est de forme hexagonale pour le critère de Mohr-Coulomb.

Les phénomènes de retrait constituaient également une contrainte importante pour la conception du radier : ils ont conduit à réaliser le bétonnage en cinq phases, et à prévoir un ferrailage circulaire conséquent pour compenser les efforts de traction induits par le retrait.

CONCEPTION DES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

La poutre annulaire périphérique a été réalisée en dix-sept éléments d'environ 12 m de longueur, coulés en place, puis fermée par un dernier tronçon préfabriqué, clavé à l'anneau par un moilage





extérieur, qui a permis de maintenir l'accès aux matériels pour la mise en œuvre des remblais. Les cages d'armature ont été entièrement préfabriquées sur site. Pour le radier, afin de favoriser au maximum la préfabrication, ARCADIS a conçu le ferrailage de la couronne extérieure sous la forme de poutres circulaires de 1,6 m d'entraxe, préfabriquées par éléments de 14 m de longueur, et d'aciers radiaux droits assemblés en place. La partie centrale est armée par des nappes de treillis soudé.

7- Troisième phase de bétonnage en cours.

8- Vue générale du radier en cours de bétonnage.

7- Third concreting phase in progress.

8- General view of the foundation raft during concreting.

ORGANISATION DU CHANTIER

Après un récolement minutieux des fondations de l'ancien réservoir, dégagées en fond de fouille, et la réalisation de la plate-forme de travail, le chantier a débuté par deux inclusions d'essai et deux essais de chargement statiques pour valider le critère théorique prédéfini avec le logiciel Calypso au droit de sondages pressiométriques. Les essais de chargement ont été poursuivis jusqu'à la charge de fluage théorique ;

ils sont restés dans le domaine de déformation élastique de l'inclusion et ont validé le critère retenu pour la suite du chantier. La mise en place des inclusions a mobilisé une équipe de dix personnes avec deux ateliers lourds travaillant en concomitance et deux ateliers légers intervenant ponctuellement :

- Atelier lourd de fonçage (grue sur chenilles + vibrofonceur) ;
- Atelier lourd de battage (grue sur chenilles + marteau hydraulique) ;
- Atelier léger de fabrication des entures (grue sur pneus d'appoint) ;
- Atelier léger de recépage et pose des platines (mini-pelle + découpe-tube).

Cette organisation a permis de respecter la cadence moyenne de douze à treize unités par jour.

Quelques refus prématurés ont été observés à proximité des anciennes fondations, nécessitant des adaptations de la maille et l'ajout d'inclusions supplémentaires, mais sans conséquence significative sur le chantier.

La réalisation de la poutre périphérique a débuté pendant la mise en œuvre des inclusions, de manière à faire coïncider la fin du bétonnage avec la fin du battage et d'enchaîner avec la mise en œuvre du matelas de répartition.

Le bétonnage du radier a été effectué en cinq phases espacées d'environ une semaine, en commençant par le noyau central. Les quatre phases principales ont représenté chacune un volume de 520 m³, soit près de 75 toupies, et plus de 600 m² de talochage suivant la pente.

Elles ont mobilisé une quinzaine de personnes pendant dix heures avec des pointes de cadence de bétonnage à 80 à 100 m³/h.

Le chantier s'est déroulé sans aléa significatif. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : EDF – Unité de Production de Cordemais

MAÎTRE D'ŒUVRE : EDF – Centre d'Ingénierie Thermique

GROUPEMENT :

- ETPO (Mandataire) : Fondations profondes, génie-civil
- BALINEAU : Fondations profondes
- CHARRIER TP : Terrassements
- ARCADIS : Études d'exécution, suivi géotechnique d'exécution

ASSISTANCE GÉOTECHNIQUE AU MAÎTRE D'ŒUVRE :
FONDASOL (missions géotechniques G12, G2 et G4)

ABSTRACT

FOUNDATIONS OF FUEL OIL STORAGE TANK 9 FOR THE CORDEMAIS THERMAL POWER STATION

OLIVIER DAVID, ARCADIS - PIERRE-JEAN LEBASTARD, ETPO

For reconstruction of fuel oil storage tank 9 for the Cordemais thermal power station, a foundation structure of atypical dimensions had to be constructed: a reinforced concrete foundation raft 65.4 m in diameter and 0.3 m to 1.0 m thick combined with reinforcement of the supporting soil by 445 steel inclusions driven down to the rock at a depth of around 25 to 35 m. The driven steel tube technique proved highly suitable for the geotechnical context, environmental constraints and logistical, safety and project schedule requirements. In particular, it greatly limited exposure to contingencies related to uncertainties concerning anchoring depth, possible contamination, the existence of the foundations of the old tank, and climatic conditions. Together with a foundation raft reinforcement design giving priority to prefabrication, exemplary organisation of the construction site and efficient collaboration between the various project players, it made it possible to meet the very tight project deadline, without any significant unforeseen work events. □

CIMENTOS DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE FUEL N°9 DE LA CENTRAL TÉRMICA DE CORDEMAIS (44)

OLIVIER DAVID, ARCADIS - PIERRE-JEAN LEBASTARD, ETPO

La reconstrucción del depósito de almacenamiento de fuel n°9 de la central térmica de Cordemais ha precisado la realización de una obra de cimentación de dimensiones atípicas: una solera de hormigón armado de 65,4 metros de diámetro, de 0,3 metro a 1,0 metro de espesor, asociada a un refuerzo del asiento mediante 445 inclusiones metálicas apisonadas hasta la roca, a una profundidad de entre 25 y 35 m. La técnica del tubo metálico apisonado resultó ser la más adecuada para el contexto geotécnico, las restricciones medioambientales y las exigencias logísticas, de seguridad y de calendario de la obra, básicamente porque limitó notablemente la exposición a las contingencias relacionadas con la incertidumbre sobre la profundidad de anclaje, la posible contaminación, la presencia de los cimientos del antiguo depósito y las condiciones climáticas. Gracias a un diseño de la armadura de la solera que favorece la prefabricación, a una organización ejemplar de la obra y a una colaboración eficaz entre los distintos actores del proyecto, ha sido posible respetar el plazo muy ajustado de la operación, sin imprevistos significativos en su ejecución. □



MICROPIEUX D'ANCRAGES POUR HAUBANS D'ÉOLIENNES EN ÉTHIOPIE

AUTEURS : BÉNÉDICTE MADINIER, INGÉNIEUR CHARGÉE D'ÉTUDES, TERRASOL - HERVÉ LE BISSONNAIS, DIRECTEUR, TERRASOL - ROMAIN PELISSIER, SITE MANAGER, VERGNET SA

DANS LE CADRE D'UN CONTRAT EPC (ENGINEERING, PROCUREMENT, CONSTRUCTION), VERGNET EST EN CHARGE DU PROJET « ASHEGODA WIND FARM » EN ÉTHIOPIE. AVEC UNE PUISSANCE DE 120 MW, IL S'AGIT DE LA FERME ÉOLIENNE LA PLUS IMPORTANTE D'AFRIQUE SUBSAHARIENNE À LA DATE DE DÉMARRAGE DU PROJET (OCTOBRE 2009). OUTRE LA FOURNITURE ET LE MONTAGE DES ÉOLIENNES, CE PROJET COMPREND LA RÉALISATION DES PISTES D'ACCÈS AUX MACHINES (ENVIRON 35 KM), LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES (ENTERRÉS ET AÉRIENS – 33 KV) AINSI QUE LA SOUS-STATION ÉLECTRIQUE 33 KV/230 KV QUI INJECTE L'ÉNERGIE PRODUITE SUR LE RÉSEAU DE TRANSPORT NATIONAL. DANS CE CADRE, 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, AINSI QUE LEUR SUIVI D'EXÉCUTION.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PROJET

Le projet « Ashegoda Wind Farm » se situe à environ 30 km de Mekele dans la région du Tigray au Nord de l'Éthiopie. Localisé à plus de 2 000 m d'altitude en bordure des hauts plateaux que limite le rift Est africain (figure 2), le site présente des conditions de vent particulièrement favorables avec 8 m/s de vent moyen sur l'année. À terme,

cette ferme éolienne réalisée pour le compte d'EEPCo (Ethiopian Electric Power Corporation) et construite par VERGNET, comportera 84 machines pour une puissance totale installée de 120 Mégawatts. La phase I située dans la zone Sud du projet « Ashegoda Wind Farm » comprend 30 éoliennes VERGNET GEV HP d'une puissance nominale de 1 MW. Cette machine bipale, dont le mât culmine à 70 m, présente

1- Vue générale des haubans.

1- General view of the stay cables.

la particularité d'être haubanée, ce qui permet de réduire fortement le diamètre et le volume de béton à mettre en œuvre pour la fondation de l'embase principale (photo 3). Le système de fon-

dations de la GEV HP comporte donc :
→ L'embase principale d'un diamètre moyen de l'ordre de 7 m pour un volume de béton d'environ 45 m³ ;
→ Les ancrages des 6 haubans du mât par des micropieux ;
→ Le massif du Verlift® (système de levage propre à la machine, permettant la mise en place des tronçons de mât et de la nacelle avale) qui est également fondé sur 4 micropieux (photo 4) ;

→ Les massifs de fondations superficielles du support de nacelle et des renvois avant et arrière des câbles de pâles.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

La géologie du site d'Ashegoda s'inscrit dans le contexte du bassin sédimentaire de Mekele et est constituée par les formations marno-calcaires de l'Agula shale et de l'Antalo limestone, d'âge Jurassique : essentiellement une alternance de bancs calcaires et de niveaux marneux d'épaisseur pluridécimétrique à plurimétrique. Ces terrains sédimentaires ont été recoupés durant l'Oligocène par des intrusions volcaniques de dolérite, formant des dykes, des sills et s'épanchant en surface (photo 5). On trouve également au droit du projet une formation meuble argileuse de « Black Cotton Soil », particulièrement sensible à l'eau (retrait et gonflement de l'argile) dont l'épaisseur sur site peut atteindre localement près de 2 m.

Les reconnaissances géologiques et géotechniques effectuées pour ce projet ont consisté pour chacune des 30 éoliennes en la réalisation de 3 sondages à la pelle mécanique et de 1 à 3 sondages carottés d'une profondeur de 20 m. Ces sondages carottés sont couplés à des essais *in situ* de type SPT (Standard Penetration Test) dans les matériaux meubles issus de l'altération de la dolérite et dans les niveaux marneux de l'Agula shale (photos 6 et 7). Ils permettent également le prélèvement d'échantillons dans les formations rocheuses de calcaire et de dolérite. Les essais en laboratoires comprennent principalement des identifications sur les échantillons de sol (teneur en eau,



SOURCE : UNIVERSITY OF TEXAS LIBRARIES

- 2- Localisation du projet.
- 3- Éolienne Vergnet GEV HP. Le diamètre des pales est de 62 m.
- 4- Système Verlift® pour montage du mât.

- 2- Project location.
- 3- Vergnet GEV HP wind turbine. The blade diameter is 62 m.
- 4- Verlift® system for erecting the mast.

granulométrie, limites d'Atterberg...) et des mesures de résistance en compression simple et de masse volumique sur les échantillons de roche.

La campagne de reconnaissances a mis en évidence les disparités géologiques et géotechniques à l'échelle du projet d'une part : l'alignement Est des éoliennes 1 à 13 est situé sur une crête de dolérite, le substratum marno-calcaire étant rencontré entre 7 et plus de 20 m de profondeur selon les machines ; l'alignement Ouest des éoliennes 19 à 23 est situé directement sur les formations marno-calcaires de l'Agula Shale, sans intrusion ou épanchement reconnu de dolérite. D'autre part, à l'échelle même de la plateforme d'une éolienne : l'épaisseur de la frange d'altération de la dolérite s'est avérée très variable. Cette frange d'altération

présente toutefois des caractéristiques mécaniques correctes (N_{SPT} supérieur à 30 en règle générale) et, à l'exception du Black Cotton Soil, les reconnaissances géotechniques ont montré globalement des terrains présentant de bonnes caractéristiques mécaniques.

PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT DES ANCRAGES

Les 6 haubans de la machine sont ancrés sur des micropieux qui subissent des efforts de traction qui varient cycliquement. TERRASOL a mis au point une méthode de dimensionnement basée sur la notion de diagramme de stabilité cyclique^[1] : 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.

La première phase de dimensionnement des micropieux détermine la longueur de micropieux à mettre en œuvre pour reprendre une charge de design statique ULS maximale égale à 111 T. Ces calculs sont effectués conformément aux normes éthiopiennes EBCS-7 Foundations (Ethiopian Building Code Standards). Dans un deuxième temps, la longueur obtenue par le calcul statique est également vérifiée sous les cas de charges cycliques. Ce dimensionnement en deux étapes a montré que les phénomènes de fatigue observés sous charge cyclique n'étaient pas dimensionnants au regard de la charge statique ULS maximale à laquelle est soumis l'ancrage (figure 8). ▷





5
© DR

Les 4 micropieux du massif du Verlift sont pour leur part seulement dimensionnés sous cas de charge statique. Les valeurs de coefficients de frottement sol/pieu q_{sk} à prendre en compte pour le dimensionnement ont été déterminées à partir d'essais statiques d'arrachement de micropieux, préalablement aux travaux d'exécution des ancrages des haubans. Ces essais ont été réalisés de manière sélective dans les différentes formations de sols et de roches identifiées lors des reconnaissances géotechniques (photo 9). Au total, 18 essais d'arrachements ont été réalisés sur la zone Sud, dans

les formations meubles issues de l'altération de la dolérite, les alternances marno-calcaires et les formations rocheuses doléritiques. À l'issue des essais d'arrachement les valeurs de coefficient de frottement sol/pieu q_{sk} retenues pour le dimensionnement varient entre 200 et 650 kPa selon la formation géologique considérée.

EXÉCUTION ET CONTRÔLES

Les micropieux d'ancrage des haubans se répartissent sur un cercle de rayon 25 m environ autour du mât de la machine. Leur inclinaison par rapport à la verticale est de 28.8°, dans le pro-

longement des haubans. La tolérance d'implantation en X,Y du point d'impact (intersection du micropieu avec le terrain naturel) est de +/-15 cm et la tolérance sur l'inclinaison de la barre est de +/-2°.

Les micropieux du massif de fondation du Verlift sont forés avec une foreuse Atlas Copco 460 PC et les micropieux d'ancrage des haubans avec une foreuse Atlas Copco Mustang 4 F3 permettant la réalisation de forages inclinés. Les forages sont réalisés à l'air et non tubés. Les micropieux sont constitués de barres GEWI 63T mises en place dans un forage de 152 mm

- 5- Contexte géologique. Au premier plan : terrains calcaires, au second plan : dolérite avec altération typique associée en « boules ».
- 6- Sondage carotté. Altération de la dolérite en tête.
- 7- Reconnaissances géotechniques.

- 5- Geological context. In the foreground: calcareous land; in the background: dolerite with typical associated corestone alteration.
- 6- Core drilling. Dolerite alteration at the head.
- 7- Geotechnical reconnaissance.



© GONDWANA

6



7

© DR

8- Dimensionnement des micropieux sous sollicitations cycliques.

9- Essai d'arrachement du micropieu.

10, 11, 12- Réalisation des micropieux (forage, pompe à injection, injection).

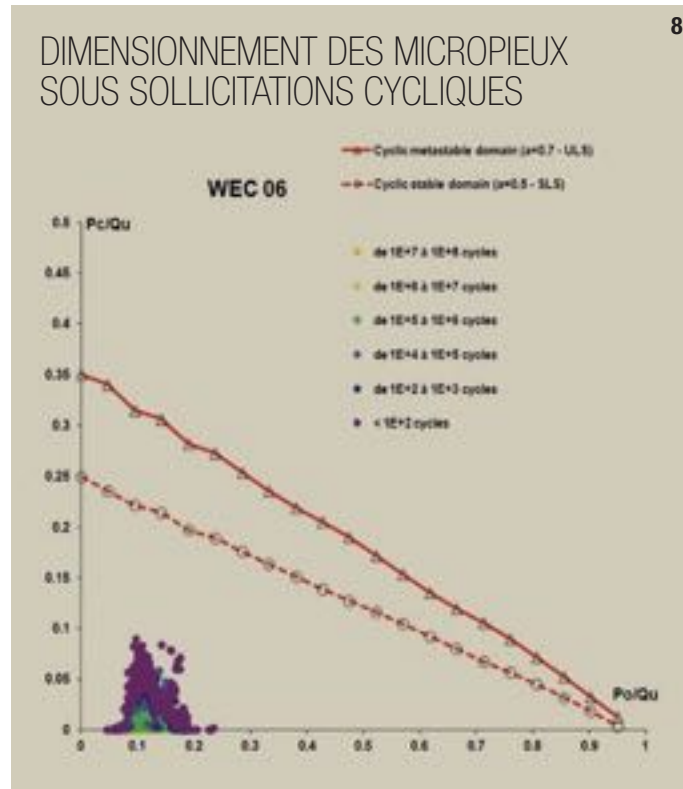
8- Micropile design under cyclical loading.

9- Micropile pull-out test.

10, 11, 12- Execution of micropiles (drilling, grouting pump, cement grouting).

DIMENSIONNEMENT DES MICROPIEUX SOUS SOLLICITATIONS CYCLIQUES

8



de diamètre. À l'interface avec le massif d'ancrage des haubans, les micropieux sont renforcés en tête par un tube acier d'une longueur de 2 m, d'un diamètre intérieur de 140 mm et d'une épaisseur de 6 mm mis en place en même temps que la barre GEWI dans le forage. Les barres sont scellées au terrain par un coulis de ciment (C/E = 2.2) injecté sous faible pression (0.7 à 1 MPa) par une canule d'injection descendue en pied de forage (photos 10, 11, 12). En cours d'exécution, la qualité du coulis est contrôlée régulièrement (viscosité, densité, prélèvements pour mesure de la résistance mécanique à 7 et 28 jours). En raison des disparités géologiques mises en évidence lors des reconnaissances géotechniques, un suivi géologique de chacun des forages est assuré en phase d'exécution afin de reconnaître les épaisseurs des différentes formations traversées. Si nécessaire, la longueur du micropieu est adaptée par rapport au dimensionnement initial basé sur la coupe du sondage carotté le plus proche. ▷



© DR 9



10 ©



© DR 11



12 ©



Au final, les longueurs de micropieux d'ancrage des haubans varient entre 10 et 21 m selon les conditions géologiques rencontrées. Avant la poursuite des travaux de génie civil – mise en place de la pièce de raccordement aux haubans et coulage du massif de fondation en tête du micropieu – un essai de contrôle par chargement statique (essai à charge contrôlée) est réalisé sur 1 à 3 micropieux par éolienne (photo 13). Ces essais de contrôles n'ont pas mis en évidence d'anomalie de comportement des micropieux d'ancrage.

13- Essai de contrôle d'un ancrage de hauban.
14- Éolienne opérationnelle.

13- Stay cable anchoring test.
14- Operational wind turbine.

POURSUITE DU PROJET

À la fin de l'année 2011, les 30 machines VERGNET GEV HP installées sur la phase I étaient opérationnelles, alors que se finissaient les reconnaissances géotechniques définies pour les fondations des 54 machines supplémentaires de la phase II/phase III situées en zone Nord du projet.

À l'heure actuelle, les travaux de génie civil ont débuté en zone Nord et les premiers éléments des éoliennes à mon-

ter sont déjà arrivés sur site. À terme, la production électrique attendue pour la ferme éolienne d'Ashegoda est de l'ordre de 400 GWh par an, ce qui représente environ 5 à 6 % de la consommation éthiopienne d'électricité. □

[Références bibliographiques]

[1] Cyclic design of the micropiles foundation of a wind turbine (M. Rebol, TERRASOL). 17^e Conférence Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique – Alexandrie, Octobre 2009.

CHIFFRES CLÉS POUR LA PHASE I – ZONE SUD :

- **30** éoliennes VERGNET GEV HP pour une puissance totale installée de **30** mégawatts.
- Approvisionnement des matériaux et éléments de machine depuis le port de Djibouti à **800** km.
- Travaux de fondations spéciales : Septembre 2010 à Janvier 2011.
- **300** micropieux (longueur de 4 à 21 m) pour un linéaire total de **3 500** m.
- **2 700** m³ de béton pour les fondations des éoliennes (embase principale et massifs périphériques) ; **3 000** m³ de béton pour la sous-station électrique.
- Premier raccordement au réseau : Septembre 2011.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : EEPCo (Ethiopian Electric Power Corporation)
SUPERVISION : Lahmeyer International
CONSTRUCTEUR : VERGNET SA
BUREAUX D'ÉTUDES : TERRASOL (géotechnique), Setec TPI (massifs périphériques), CTE (embase principale)
RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES : Gondwana Engineering
ENTREPRISES : Hydro Construction and Engineering Company Ltd (micropieux), Rama Construction (génie civil)

ABSTRACT

ANCHORING MICROPILES FOR WIND TURBINE CABLE STAYS IN ETHIOPIA

BÉNÉDICTE MADINIER, TERRASOL - HERVÉ LE BISSONNAIS, TERRASOL - ROMAIN PELLISSIER, VERGNET SA

Under an EPC contract (Engineering, Procurement and Construction), Vergnet is in charge of the Ashegoda Wind Farm project in Ethiopia. With a capacity of 120 MW, this was the biggest wind-power farm in sub-Saharan Africa at the date of project start-up (October 2009). In addition to supply and assembly of the wind turbines, the project includes the construction of access paths for the machines (about 35 km in all), the power grids (underground and above-ground – 33 kV) and the electrical substation 33 kV/230 kV which injects the energy produced into the national grid. In this context, Terrasol performed on behalf of Vergnet the geotechnical engineering for the wind-turbine foundations, including, in particular, design of the anchoring micropiles for the machines' stay cables, and supervision of their construction. □

MICROPILOTES DE ANCLAJE PARA CABLES TENSORES DE TURBINAS ELÓLICAS EN ETIOPÍA

BÉNÉDICTE MADINIER, TERRASOL - HERVÉ LE BISSONNAIS, TERRASOL - ROMAIN PELLISSIER, VERGNET SA

En el marco de un contrato EPC (Engineering, Procurement, Construction), VERGNET es la entidad responsable del proyecto "Ashegoda Wind Farm", en Etiopía. En el momento del inicio del proyecto (octubre de 2009), se trataba del parque eólico más importante del África subsahariana, con 120 MW de potencia. Además del suministro y el montaje de los generadores eólicos, el proyecto incluye la construcción de las pistas de acceso a las máquinas (unos 35 kilómetros en total), las redes eléctricas (aéreas y subterráneas – 33 kV) y la subestación eléctrica de 33 kV/230 kV que inyecta la energía producida en la red de transporte nacional. En este marco, VERGNET encargó a TERRASOL los estudios geotécnicos para los cimientos de las turbinas eólicas, que incluían el dimensionamiento de los micropilotes de anclaje para los cables tensores de los equipos, así como el seguimiento de su ejecución. □



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

STRRES

Le STRRES est le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures.

Il rassemble 60 entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Le STRRES est adhérent de la FNTF.

Retrouvez sur **www.strres.org** :

Les guides



Pour mieux connaître et appliquer les règles de l'art en matière de réparation et de renforcement d'ouvrages, **consultez ou téléchargez gratuitement 12 guides techniques du STRRES.**

Les entreprises



Trouver une entreprise **par domaine d'activité, par région et/ou par identification professionnelle.**

SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX
DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES

3 rue de Berri 75008 Paris • Tél. : 01 44 13 31 82 • Fax : 01 44 13 32 44 •
strres@strres.org • **www.strres.org**

ABS • ADS ouvrages d'art • AFGC • AGTP • ARREBA • ATS • AXIMUM • BASF CC France • BAUDIN-CHATEAUNEUF • BEC • BEKAERT France • BERTHOLD SA • BTPS • CHANTIERS MODERNES SUD • COFEX Ile-de-France • COFEX LITTORAL • COFEX REGIONS • COLAS RAIL • CTICM • CROBAM • DEMATHIEU ET BARD • ECM • EGM TNC • EIFFAGE TP/ Département GCN • EIFFEL CONSTRUCTION MÉTALLIQUE • ENTREPRISE BONNET • ETANDEX • ETPO • EUROVIA BÉTON • FAURE SILVA • FAYAT • HOLCIM • FREYSSINET France • FREYSSINET International & Cie • GAUTHIER • GTS/Département ELITE • LAFARGE • LETESSIER • MAPEI • MCCF • NOUVETRA • OUEST ACRO SA • PAGEL SAS • PAREXLENKO • PERRIER SAS • POA • RAZEL • RCA • RENOFORS • RESINA • RESIREP • SNC • RICHERT • SAINT GOBAIN WEBER France • SARL ROMOEUF • SEFI-INTRAFOR • SIKA • SIRCO TRAVAUX SPÉCIAUX • SNCTP • SOFRARES • SOLETANCHE BACHY • SOTEM • SORREBA TECHNOLOGIE • SOTRAIB EAU • SPIE BATIGNOLLES TECHNOLOGIES • STPL • TEMSOL • TSV • VIA PONTIS • VINCI CONSTRUCTION France • VSL France

STRRES



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

LES FONDATIONS DE LA TOUR MAJUNGA À LA DÉFENSE

AUTEURS : ÉLODIE BRUNET MANQUAT, CHEF DE PROJET BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE - FRÉDÉRIC DURAND, ANCIEN DIRECTEUR TECHNIQUE FUGRO FRANCE - ÉVELYNE OSMANI, DIRECTRICE BE STRUCTURES EIFFAGE CONSTRUCTION - OLIVIER PAL, DIRECTEUR BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE

LA TOUR MAJUNGA, IMPLANTÉE DANS LE QUARTIER DE LA DÉFENSE ET CONÇUE PAR L'ARCHITECTE JEAN-PAUL VIGUIER POUR LE COMPTE D'UNIBAIL-RODAMCO, EST UN IMMEUBLE DE BUREAUX DE PRÈS DE 200 M DE HAUT. OUTRE DES SPÉCIFICITÉS ARCHITECTURALES ET ÉNERGÉTIQUES, LE CHANTIER, LANCÉ DEPUIS JANVIER 2011, COMPORTE DES PARTICULARITÉS LIÉES À L'INCIDENCE DE L'EXPLOITATION DE CARRIÈRES SUR LA HAUTEUR DE L'INFRASTRUCTURE, LA GESTION DES DÉPLACEMENTS AU NIVEAU DES AVOISINANTS ET LA MISE EN PLACE D'UNE MÉTHODE OBSERVATIONNELLE POUR LES TRAVAUX DE SOUTÈNEMENT. MAIS LE PROJET DE LA TOUR MAJUNGA SE DISTINGUE SURTOUT PAR SA CONCEPTION STRUCTURELLE ET LE SYSTÈME DE FONDATIONS ADAPTÉ AUX CONTRAINTES DU PROJET.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet de la Tour Majunga s'inscrit dans le Plan Renouveau du quartier de La Défense qui vise notamment la construction de nouvelles tours écologiques et architecturalement innovantes. Conçue par l'architecte Jean-Paul Viguier pour le compte d'Unibail-Rodamco, la Tour Majunga est constituée de jeu de plans, d'obliques et de contre obliques inspirés de paysages de montagne (figure 1). La végétalisation est par ailleurs pensée sur toute la hauteur de la Tour en parallèle des niveaux de végétation en montagne.

Enfin, les performances énergétiques sont ambitieuses puisque les labels HQE et BREEAM sont plus particulièrement recherchés.

Réalisé dans une fouille unique et sur une fondation continue, le projet de la Tour Majunga se décompose en plusieurs parties (figure 2a) dont :

→ La principale est la zone « Tour » et comporte 2 niveaux enterrés, 5 niveaux de médiastructure et 43 niveaux de superstructure ;

→ Les locaux techniques comptent 2 niveaux de sous-sol et s'élèvent en R+1 à R+3 ;

→ L'aire de livraison est un R+2.

1- Projet de la Tour Majunga, conception Jean-Paul Viguier.
2a- Coupe en élévation de la Tour Majunga.
2b- Structure de la tour Majunga.

1- Majunga Tower project, designed by Jean-Paul Viguier.
2a- Elevation section of the Majunga Tower.
2b- Structure of the Majunga Tower.

L'ordre de service a été délivré fin octobre 2010. Les travaux ont débuté en janvier 2011 pour une date de livraison prévue fin 2013. La construction culminera alors à près de 200 m de hauteur.

Sur le plan structurel, la tour Majunga est un immeuble de bureau de 200 m de haut comportant 6 niveaux de socle et 40 niveaux de superstructure portés par un noyau et 20 poteaux appuyés sur le radier de fondation d'une épaisseur de 3 m. La structure est contreventée à 90 % par le noyau et à 10 % par l'ossature. La conception de la structure et des fondations a été adaptée par EIFFAGE CONSTRUCTION. La descente de charges totale est de 159 000 tonnes dont 15 000 tonnes de radier. Les effets de la déviation des poteaux vers l'Est, y compris les effets du second ordre représentent un moment de 50 000 tonnes-mètre. Les effets du vent représentent quant à eux un moment de 174 000 tonnes-mètre pour la composante Nord-Sud et 80 500 tonnes-mètre pour la composante Est-Ouest. Une perspective éclatée de la structure est présentée figure 2b.

Le projet représente 69 500 m² de SHON à usage de bureaux ; ce qui permettra d'accueillir environ 4 500 personnes. Les façades en verre constituent quant à elles une surface de près de 35 000 m².

LES SPÉCIFICITÉS DU PROJET

CONTEXTE PARTICULIER DE L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES

Sur l'emprise du site, les différentes campagnes géotechniques ont globalement mis en évidence la stratigraphie suivante (figure 3) :

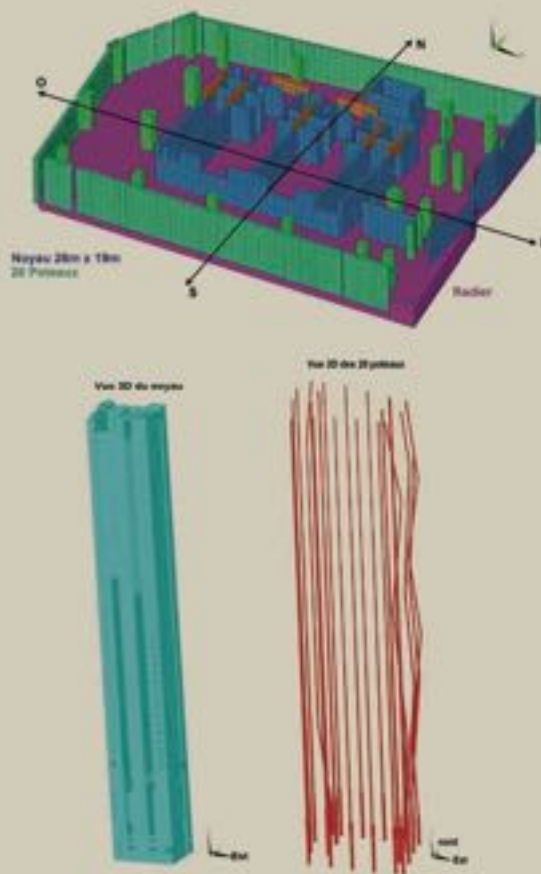
© SETEC TPA

COUPE EN ÉLÉVATION DE LA TOUR MAJUNGA



2a

STRUCTURE DE LA TOUR MAJUNGA



2b

© DR

→ Remblais divers, alluvions anciennes de la Seine et résidus de marnes et caillasses reconnus en tête sur une épaisseur moyenne de 3 à 4 m ;
 → Calcaire Grossier supérieur et moyen ;
 → Calcaire Grossier inférieur ;
 → Sables supérieurs ;
 → Fausses Glaises ;
 → Sables d'Auteuil plus ou moins sableux ou argileux ;
 → Argile Plastique ;
 → Marnes et Calcaires de Meudon, considérés dans le cas comme étant le substratum du projet.

Il s'avère que la couche de calcaire a été exploitée sur la parcelle du projet Majunga. D'après la carte des carrières issue de l'Inspection Générale des Carrières (IGC), puis suivant des investigations complémentaires dédiées à cette problématique, ont été identifiées (figure 4) :

→ Une zone d'exploitation des carrières à ciel ouvert complètement remblayées ;
 → Une zone d'exploitation des carrières sur 3 niveaux, soit environ 9 m de haut, et dont le toit se situe environ 4 m sous le niveau du terrain naturel. L'exploitation du calcaire s'est faite suivant la technique des « piliers tournés », ce qui signifie que le ciel de carrière est maintenu par des étaux de masse calcaire. L'ensemble est consolidé par des piliers ou murs maçonnés.

- Une partie de ces carrières était partiellement remblayée sur les 2 niveaux inférieurs et visitable sur le 3^e niveau.
- L'autre partie avait fait l'objet d'un comblement par bourrage et injection de mortier ciment.
- La présence d'un fontis est également à signaler.

Les terrassements pour la réalisation des soutènements intéressent les couches supérieures jusqu'à la base de l'exploitation du Calcaire Grossier ; les fondations de la Tour se trouvant au-delà de la base des carrières.

La présence de carrières souterraines nécessitait d'une part leur comblement préalable avec un mortier sableux ciment de sorte à garantir la sécurité des personnes et des biens pendant les différentes phases de terrassement. D'autre part, la réalisation de l'enceinte pour les 2 niveaux de sous-sol de la Tour conduisait à une coupure du ciel des carrières (dalle calcaire résiduelle). De manière à assurer la stabilité de la dalle calcaire, et conformément aux prescriptions de l'IGC, la réalisation de « murs masques » était indispensable (figure 5).

Les murs masques sont traditionnellement des murs maçonnés. Le recours à une telle méthode aurait nécessité :
 → D'importants travaux de terrassement dans les remblais existants en pied de carrière et sur la totalité de sa hauteur ;

→ Des interventions humaines dans des conditions de sécurité non satisfaisantes ;
 → Et des délais de réalisation importants.
 C'est pourquoi il a été proposé en variante, soumise à l'approbation de

la Maîtrise d'œuvre, du Bureau de contrôle et de l'IGC, de réaliser les murs masques par jet grouting. La technique du jet grouting est en effet adaptée aux différents états de conservation d'une carrière et aux différents états de son remblaiement. Elle permet

d'obtenir des colonnes de résistance homogène et contrôlée :
 → Dans les anciens remblais en pied de carrière (débris d'exploitation) ;
 → Dans les remblais plus récents, voire contemporains ;
 → À la base des marnes et caillasses si elles sont décomprimées du fait de l'affaissement du ciel sur les bourrages.
 → Et de reconstituer la continuité du ciel si celui-ci est partiellement désstructuré du fait de l'affaissement sur les bourrages.

Ces murs masques en jet grouting sont désolidarisés de la paroi périphérique de soutènement et assurent de façon pérenne à long terme le soutien de la dalle calcaire.

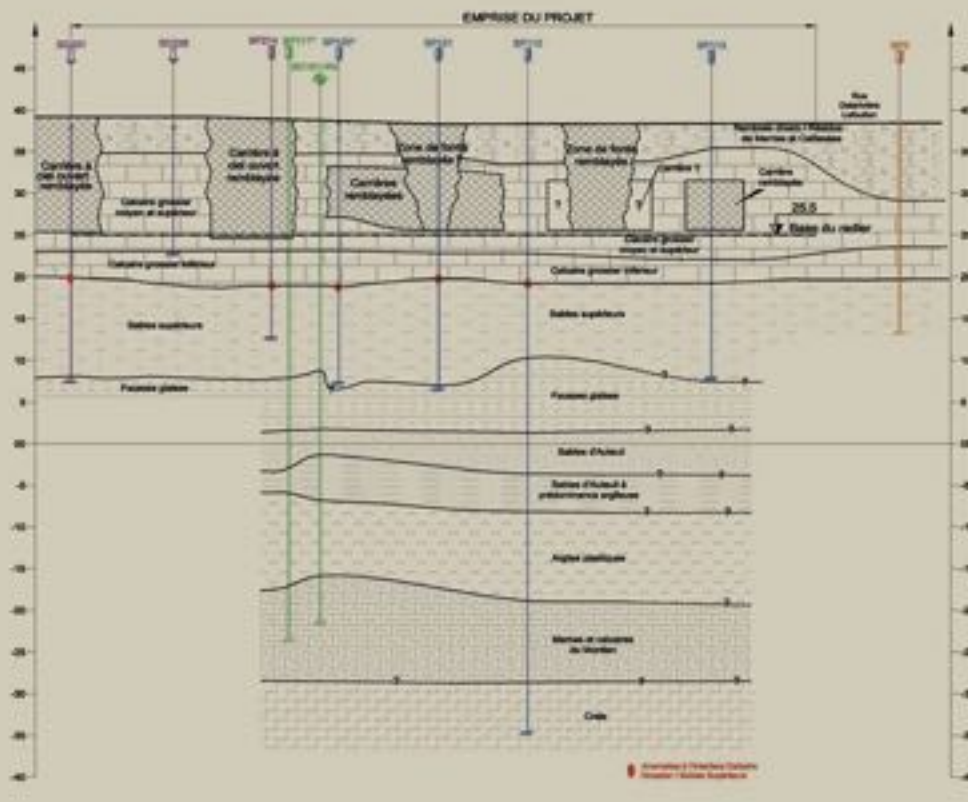
ANOMALIES DÉTECTÉES DANS LA ZONE DE TRANSITION ENTRE LES CALCAIRES GROSSIERS INFÉRIEURS ET LES SABLES SUPÉRIEURS

Les investigations géotechniques ont mis en évidence des anomalies sur les enregistrements des paramètres de forage et des baisses de caractéristiques mécaniques dans la zone de transition entre le calcaire grossier inférieur et les sables supérieurs. Compte tenu des charges à reprendre au niveau des fondations de la zone « Tour » et des objectifs de performance à atteindre en termes de tassement, un renforcement de cette zone de transition s'imposait. Le choix du mode de fondations s'est orienté vers un radier général avec renforcement de sols par colonnes de jet grouting dans la zone « Tour ». Le principe et les objectifs de ce système de fondations sont détaillés au paragraphe 4.

3

COUPE INTERPRÉTATIVE DES SONDAGES

Extrait du rapport G2 établi par TERRASOL



4

CARTE INTERPRÉTATIVE DE L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES



3- Coupe interprétative des sondages, extrait du rapport G2 établi par TERRASOL.

4- Carte interprétative de l'exploitation des carrières.

3- Interpretative cross section of test boring, excerpt from the G2 report drawn up by TERRASOL.

4- Interpretative map of quarry mining.

5- Principe des murs masques.

6- Projet réalisé en contexte fortement urbanisé, document issu du rapport G2 de TERRASOL et complété.

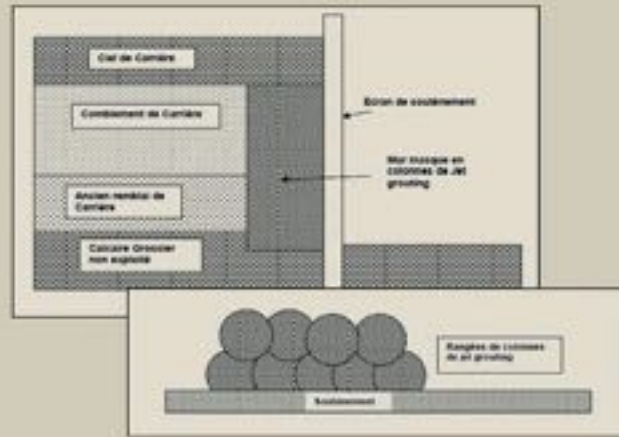
5- Shield wall technique.

6- Project carried out in a highly urbanised environment, document taken from the G2 report by TERRASOL and supplemented.

© FLUGRO

PRINCIPE DES MURS MASQUES

5



PROJET RÉALISÉ EN CONTEXTE FORTEMENT URBANISÉ

Document issu du rapport G2 de TERRASOL et complété

6



© DR

PHASAGE DE RÉALISATION ET INTERACTIONS

L'ensemble des travaux d'infrastructures et de fondations s'inscrit dans un planning serré : 8 mois seulement pour procéder au comblement des carrières, réaliser les murs masques, les colonnes de jet grouting à usage de fondations dans la zone « Tour », les soutènements et les terrassements.

Les différentes tâches interagissent les unes avec les autres :

→ Les terrassements ne peuvent débuter avant la mise en sécurité des carrières et la réalisation de l'enceinte des soutènements ;

→ Les soutènements ne peuvent être exécutés qu'à partir du moment où les murs masques apportent un soutien au ciel des carrières ;

→ Les murs masques ne peuvent se faire qu'une fois la carrière comblée ;

→ Dans le délai imparti et compte tenu de l'emprise restreinte en fond de fouille, les colonnes de jet grouting à usage de fondations sont à mettre en œuvre depuis le terrain naturel.

À ce titre, EIFFAGE Construction a confié un macro lot à BOTTE Fondations. Les travaux ont débuté par l'exécution des colonnes de jet grouting à usage de fondations ; les spoils ayant permis de

comblent en temps masqué une partie des carrières.

Les forages pour le comblement total des carrières se sont enchaînés au fur et à mesure de la libération des différentes zones, de telle sorte qu'une seule intervention de l'atelier de jet grouting a été nécessaire : les murs masques ont été faits dans la continuité des colonnes à usage de fondations.

De manière plus globale, le phasage a été pensé de telle manière à pouvoir libérer le fond de fouille par zones et s'inscrire dans un planning compatible avec le démarrage du gros œuvre.

GESTION DES DÉPLACEMENTS AU NIVEAU DES AVOISINANTS

L'ensemble des travaux est accompli en zone fortement urbanisée (figure 6) :

→ Côté Nord :

- Au plus près de l'enceinte des soutènements, la galerie technique Villon qui contient de nombreux réseaux concessionnaires ;

- La Tour Ariane dont les fondations reposent sur le calcaire grossier approximativement au même niveau que celles de la Tour Majunga ;

- La Résidence Les Platanes qui présente plus particulièrement 2 poteaux fondés sur pieux à proximité immédiate du projet ;

→ Côté Ouest, le parking Villon fondé sur semelles superficielles à des niveaux variables suivant la position du calcaire grossier et son exploitation en carrière souterraine ;

→ Côté Sud, la Résidence Les Colonels et le jardin Gallieni en surplomb du projet et concerné par la réalisation de l'aire de livraison ;

→ Sur le pourtour du chantier, les différentes voiries et accès riverains.

L'incidence des travaux sur les avoisinants constitue une des composantes majeures du projet et revêt un caractère double puisque la gestion des déplacements au droit de chacun des existants comprend le cumul des déplacements acquis à la fois au court de la phase de réalisation de l'infrastructure puis à plus long terme suite à la cuvette de tassement engendrée par la construction de la Tour Majunga.

De par sa proximité et sa sensibilité, la galerie technique Villon a nécessité une attention toute particulière. Plus spécifiquement, un critère en rotation a été fixé pour vérifier le caractère admissible des déplacements différentiels.

DES SOUTÈNEMENTS MIS EN ŒUVRE DANS LE CADRE D'UNE MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SOUTÈNEMENTS

La construction de l'infrastructure a conduit à mettre en œuvre une enceinte composée de soutènements de 13 m de hauteur (photos 7a, 7b et figure 7c). Les soutènements sont constitués de paroi parisienne ou berlinoise suivant la reprise ou non en phase définitive de charges provenant de la Tour. En phase provisoire et après obtention des autorisations par les différents concessionnaires, une solution de stabilisation par ancrages a pu être retenue.



7a

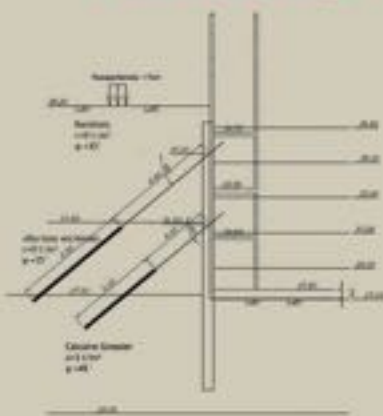


7b

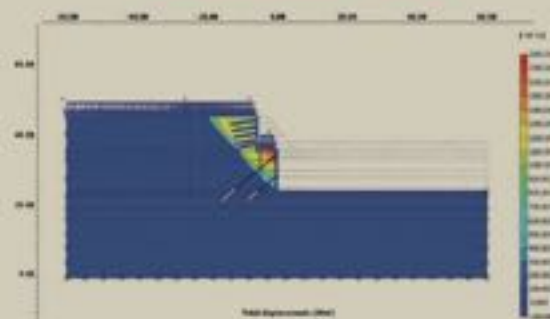
© EIFFAGE

CARACTÉRISTIQUES DES SOUTÈNEMENTS

Coupe de principe avec tirants d'ancrage



Double soutènement Gallieni



7c

© DR

7a- Terrain dans son état d'origine.

7b- Travaux d'infrastructure en cours.

7c- Caractéristiques des soutènements.

7a- Land in its original state.

7b- Infrastructure work in progress.

7c- Retaining structure characteristics.

Seul le cas particulier du côté Nord, compte tenu de l'emprise de la galerie technique Villon, a conduit à conserver une solution de butonnage. Localement, au droit des jardins Gallieni, un double soutènement atteignant jusqu'à 20 m de hauteur a été exécuté. Il est constitué dans sa partie haute par une paroi clouée à l'aplomb des jardins puis d'une paroi parisienne pour constituer l'enceinte de l'infrastructure. De manière générale, les parois ont été dimensionnées à partir d'un calcul aux modules de réaction sous le logiciel RIDO, complété par des analyses aux éléments finis sous PLAXIS pour les configurations plus particulières des coupes :

→ Le long de la galerie Villon pour une meilleure prise en compte du report des effets de voûte de la galerie sur le soutènement et la vérification des critères de déplacements ;

→ Au droit des jardins Gallieni pour tenir compte de la composante horizontale apportée par le talus cloué amont sur la paroi parisienne et vérifier la stabilité globale.

CAS PARTICULIER DU SOUTÈNEMENT LE LONG DE LA GALERIE VILLON

Une solution de stabilisation par butons de pied a initialement été envisagée le long de la galerie technique Villon. Les critères stricts de déplacement prescrits pour cette zone imposaient (figure 8a) :

→ La mise en place de butons de pied transitoire ;
→ Une ouverture par plots pour pose des butons de pied en fond de fouille, puis leur remblaiement avant terrassement de la passe.

Ce synoptique complexe présentait par ailleurs des phases transitoires pour lesquelles les conditions de sécurité et de stabilité n'étaient pas satisfaisantes. Venait également s'ajouter une incertitude sur la lithologie compte tenu de la proximité de la zone de fontis et de la délimitation des carrières, ce qui pouvait conduire à la mise en place d'un buton de pied supplémentaire.

La solution a été définitivement abandonnée compte tenu de l'interaction des butons avec le ferrailage du radier

de la Tour (figure 8b). Malgré la réduction supplémentaire d'emprise induite pour les terrassements, le butonnage transversal s'est avéré comme étant le plus adapté pour répondre aux différentes contraintes (photo 8c).

SUIVI DES DÉPLACEMENTS DANS LE CADRE D'UNE MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

Compte tenu de la dispersion des valeurs mesurées lors des investigations dans les matériaux en place, des hypothèses géotechniques probables et des scénarii défavorables ont été définis au stade de la mission G2.

Les hypothèses probables sont rassemblées dans le Tableau 1. Le dimensionnement des parois a été établi sur la base des hypothèses probables, considérées comme les plus réalistes.

Dans le cadre de l'application de la méthode observationnelle au droit des coupes situées côté Sud, Est et devant la Résidence Les Platanes, les scénarii défavorables ont été testés en complément dès les études d'exécution.

L'impact de la prise en compte des différents aléas sur les déplacements de la paroi a conduit à intégrer directement des mesures préventives (surferrailage par exemple) et à prévoir des mesures correctrices de type augmentation de la précontrainte ou ajout d'ancrages.

Dans le cadre de la méthode observationnelle, des valeurs limites ont par ailleurs été définies au stade de la mission G2.

Suivant la sensibilité des zones, le critère de déplacement horizontal maximal en tête et sur toute la hauteur de la paroi a été fixé à :

- 40 mm au droit des jardins Gallieni ;
- 10 mm au droit des poteaux de la Résidence Les Platanes, les plus proches de la paroi ;
- 20 mm partout ailleurs.

Ces valeurs constituent le seuil d'arrêt. Les seuils d'alerte ont été définis à partir des valeurs de calcul obtenues dans les études d'exécution. Pour chaque phase, la valeur d'alerte a été prise égale à la plus petite des 2 valeurs suivantes :

TABEAU 1 : HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES PROBABLES

Horizon	Cote de la base [NGF]	Poids volumique [kN/m³]	Module pressiométrique [MPa]	Pression limite [MPa]	Cohésion effective [kPa]	Angle de frottement [kPa]
Remblais divers et résidus de marnes et caillasse	variable	18	24	2,5	0	30
Alluvions anciennes	variable	20	-	-	0	35
Remblais de carrière	variable	17	3	0,3	0	25
Calcaire grossier supérieur et moyen	23.5	21	100	4,5	30	45
Calcaire grossier inférieur	20	21	100	4,5	30	45

→ 1,2 fois la valeur de calcul pour la phase considérée ;
 → 0,95 fois la valeur limite définie pour la zone considérée.
 Un suivi interprétatif avec définition des fuseaux d'alerte au droit de chacune des zones a été mené pour vérifier que le comportement de la paroi correspondait avec celui envisagé (figure 9).
 En parallèle ont été mises en place des cibles sur les existants dès le début des travaux liés à l'infrastructure.

CHOIX DU MODE DE FONDATIONS POUR LA ZONE « TOUR » ENJEUX ET OBJECTIFS

Les fondations de la Tour s'établissent au-delà de la base des carrières, ce qui permet d'envisager un mode de fondations superficielles (figure 10a).
 Les objectifs de performance fixés sont les suivants :
 → En termes de tassement :
 - Tassement différentiel ≤ 1/500 sous le radier et au niveau des façades à partir de leur mise en place ;
 - Tassement différentiel ≤ 1/500 sous les réseaux avoisinants ;
 - Tassement différentiels ≤ 1/1000 sous les avoisinants ;
 → Limitation aux ELS des contraintes appliquées :
 - Dans le calcaire grossier à 1.5 MPa ;
 - Dans les sables supérieurs à 1.0 MPa.

Compte tenu de la diffusion des charges en profondeur et de la présence de caractéristiques mécaniques amoindries au niveau de la transition entre les calcaires grossiers inférieurs et les sables supérieurs, un renforcement de sol était nécessaire pour atteindre les critères prescrits.
 Une solution variante avec réalisation, sous un radier général de 3 m d'épaisseur, d'un réseau de colonnes de jet

grouting sous les plus fortes charges a été proposée pour limiter les tassements absolus et par conséquent les tassements différentiels (figure 10b). Les colonnes de jet grouting sont implantées à la base du calcaire grossier inférieur et ancrées d'1 m dans les sables supérieurs (figure 10c).

MÉTHODOLOGIE DE CALCULS

Un premier modèle de calculs sur la base d'une géométrie simplifiée a été effectué sous le logiciel aux éléments finis PLAXIS 3D Fondations. Dans ce modèle les sols sont représentés par une loi de comportement élasto-plastique avec critère de rupture de type Mohr-Coulomb. Cette loi ne permettant pas de tenir compte des différentes étapes de construction (déchargement puis rechargement), les charges appliquées ont été dégressées du poids des terres excavées.
 Ce modèle à géométrie simplifiée a permis de valider dans un premier temps une allure globale de tassement sous le radier avec des modules de déformations des différentes couches de sol directement issus du rapport de mission G2.
 Il a servi dans un second temps de modèle de calage pour la seconde analyse lancée également aux éléments finis sous PLAXIS 3D Fondations.
 Dans ce deuxième modèle, les sols sont approchés par une loi de comportement élasto-plastique avec prise en compte de l'écrouissage (loi Hardening Soil Model – HSM – sous PLAXIS). De cette manière, l'histoire du chargement des matériaux est approchée en considérant notamment un module de déchargement/rechargement plus élevé que le module de premier chargement. Les caractéristiques mécaniques entrées sous PLAXIS 3DF sont rassemblées dans le Tableau 3.
 Il est important de noter que pour obtenir une déformée du radier qui soit la plus réaliste possible, il est nécessaire de prendre en compte, même au stade de la géométrie simplifiée, des éléments de raideurs de la tour.
 Dans le cas présent et au niveau de la modélisation Plaxis 3D, nous avons pris en compte les voiles du noyau central. La rigidité apportée par ces voiles est sans comparaison par rapport à la rigidité apportée par le simple radier même si ce dernier présentait une épaisseur non négligeable. En ne prenant pas les voiles du noyau, la cuvette de tassement était maximale au centre ▷

TABEAU 2 : LES ALÉAS PORTENT SUR LES HORIZONS ET PARAMÈTRES SUIVANTS :

• **Dégradation des caractéristiques mécaniques des remblais de surface et résidus de marnes et caillasses**

	Hypothèse de base	Scénario défavorable
Poids volumique [kN/m³]	18	19
Angle de frottement [°]	30	27
Module pressiométrique [MPa]	24	12

• **Dégradation des caractéristiques des remblais de carrière**

	Hypothèse de base	Scénario défavorable
Poids volumique [kN/m³]	17	18
Paramètre δ/φ	2/3	0

• **Dégradation des caractéristiques mécaniques de la dalle calcaire résiduelle (ciel de carrière)**

	Hypothèse de base	Scénario défavorable
Cohésion effective [kPa]	30	0

• **Dégradation des caractéristiques mécaniques du calcaire grossier inférieur**

	Hypothèse de base	Scénario défavorable
Cohésion effective [kPa]	30	10

• **Niveau de fond de fouille au droit des zones d'exploitation de carrières**

	Hypothèse de base	Scénario défavorable
Cote du fond de fouille [NGF]	25.5	24.6

• **Extension des anciennes carrières**

	Hypothèse de base (carte IGC)	Scénario défavorable
Zones en limite de carrière souterraine	Absence de carrière souterraine : calcaire grossier continu sous les formations de surface	Présence d'une carrière souterraine : remblais de carrière de 34.8 à 25.8 NGF
Zones en limite de carrière à ciel ouvert	Absence de carrière à ciel ouvert : calcaire grossier continu sous les formations de surface	Présence d'une carrière à ciel ouvert : remblais de carrière jusqu'à 25.8 NGF

du noyau ainsi que la courbure et donc le moment fléchissant dans le radier : ce qui était strictement impossible de retrouver avec le modèle structurel de type barre ressort conduit par ailleurs. En prenant en compte au niveau du modèle les éléments de rigidification importants que constituent les voiles du noyau, la forme de la cuvette de tassement était totalement différente à savoir pratiquement plate sous le noyau de la tour, de même la courbure maximale et donc le moment fléchissant maximal dans le radier étaient obtenus à la « sortie » des voiles du noyau.

Dans les modèles de sol, la prise en compte des éléments de raideur de la structure sont fondamentaux pour obtenir des cuvettes de tassements et donc des coefficients de raideur qui vont permettre de caler les 2 modèles à la fois le modèle sol et le modèle structure avec des déformations quasi identiques.

Sans la prise en compte de ces éléments structuraux importants au niveau du modèle de sol les résultats de calculs entre le modèle de sol et le modèle de structure ne convergent pas. Toutefois et pour la cohérence globale du projet il importe de vérifier également que les éléments raides apportés dans le modèle de sol (voiles, radier,...) restent dans le domaine élastique.

Les colonnes de jet grouting ont été intégrées sur la base des caractéristiques suivantes :

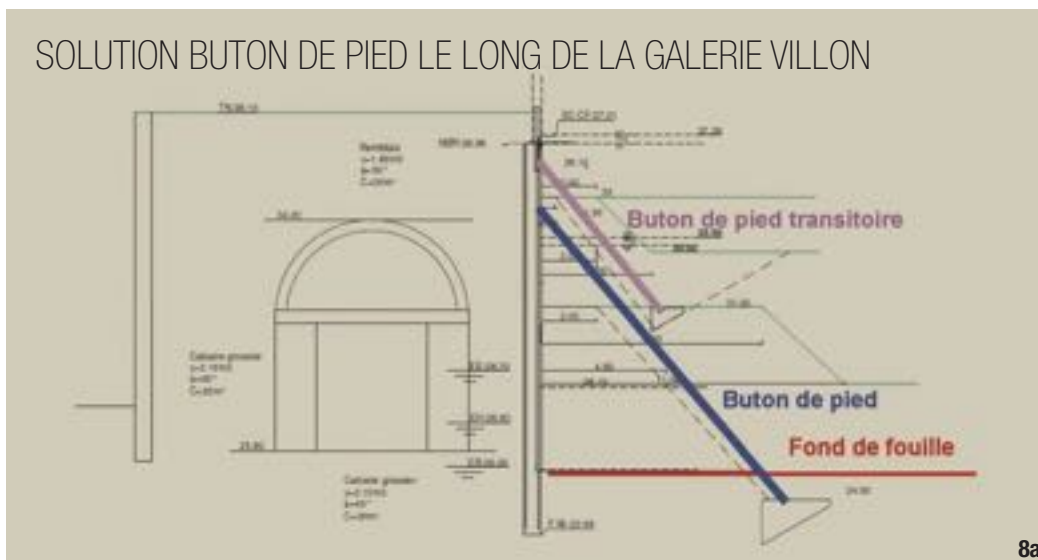
- Module de déformations = 2 000 MPa ;
- Coefficient de Poisson, $\nu = 0.2$;
- Résistance à la compression à 28 jours, $f_c = 6.0$ MPa.

La modélisation du réseau s'est faite par homogénéisation du sol renforcé : avec une maille pour les colonnes de jet grouting de 1,50 x 1,50 m, représentant un taux de substitution de 78,5 %, le sol renforcé a été modélisé avec un module de déformations équivalent à 1 500 MPa (figure 10b).

Outre le respect des critères fixés et cités précédemment, une condition complémentaire sur la contrainte dans les colonnes de jet grouting a été imposée : une limitation de la contrainte verticale à $0.3 \times f_c$ a été vérifiée.

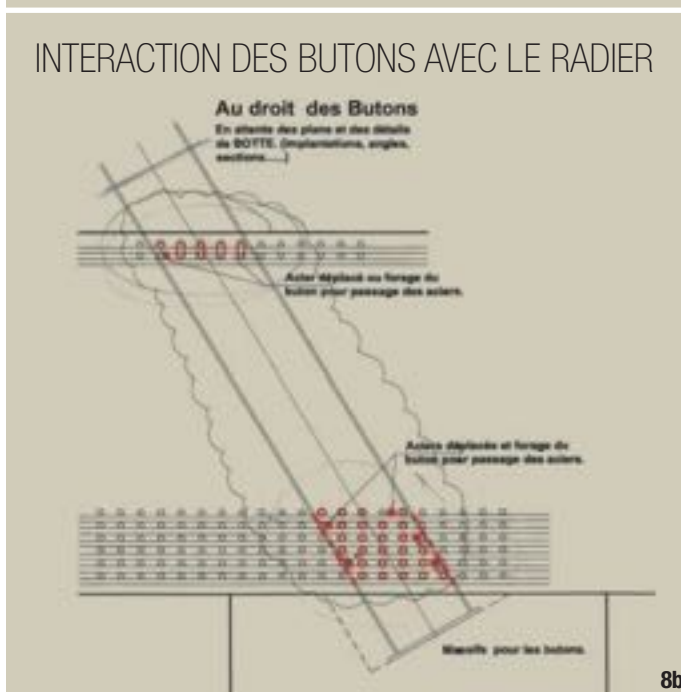
Au final, le modèle structurel a été calé sur la base des résultats du modèle géotechnique, l'objectif étant d'obtenir un champ de ressorts verticaux permettant de retrouver l'allure globale des tassements du radier. La cuvette de tassement générée par la construction de la Tour atteint au maximum 9 cm (figure 11).

SOLUTION BUTON DE PIED LE LONG DE LA GALERIE VILLON



8a

INTERACTION DES BUTONS AVEC LE RADIER



8b

8a- Solution buton de pied le long de la galerie Villon.
8b- Interaction des butons avec le radier.

8a- Base strut solution along the Villon gallery.
8b- Interaction of struts with the foundation raft.

TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES ENTRÉES SOU PLAXIS 3DF

Base [NGF]	Horizon	Poids volumique [kN/m ³]	Cohésion effective [kPa]	Angle de frottement [°]	Module de premier chargement [MPa]	Module de déchargement / rechargement [MPa]	Coefficient de Poisson [-]
23.5	Calcaire grossier supérieur	21	30	45	600	1 800	0.3
20.0	Calcaire grossier inférieur	21	30	45	300	900	0.3
17.0	Zone altérée	18	0	32	60	180	0.3
9.0	Sables supérieurs	18	0	37	140	420	0.3
1.0	Fausses glaises	18	45	10	40	120	0.3
-4.0	Sables d'Auteuil sableux	18	0	37	160	480	0.3
-7.0	Sables d'Auteuil argileux	18	20	38	60	180	0.3
-16.0	Argile plastique	18	60	15	50	150	0.3



8c

EXEMPLE DE GRAPHIQUE de suivi des déplacements sur soutènement



9

CINÉMATIQUE DES DÉPLACEMENTS

La vérification des critères de tassement différentiel passe par une bonne approche de la cinématique des déplacements. En effet, il a été différencié suivant les différentes étapes de construction les tassements nuisibles pour chacun des éléments.

En termes de charges, les ordres de grandeur suivants sont à mettre en correspondance :

- Poids de la Tour = 126 500 t ;
- Poids du radier = 14 250 t ;
- Estimation du poids des terres excavées = 51 300 t, soit environ 36,5 % du poids total ;

8c- Vue du butonnage transversal et de la fouille.

9- Exemple de graphique de suivi des déplacements sur soutènement.

8c- View of transverse staying and excavation.

9- Example of chart monitoring movements on the retaining structure.

→ Poids appliqué avant la pose des façades = 20 000 t, soit environ 16 % du poids total.

Ainsi suivant le graphique présenté en figure 12 :

→ L'incidence des travaux sur les avoisinants est déterminé dès le démarrage des terrassements ;

→ Les tassements sont comptabilisés pour le radier et l'infrastructure une fois le fond de fouille atteint ;

→ Enfin les tassements deviennent nuisibles pour les façades seulement à partir de leur mise en œuvre (!), soit à 16 % d'application du poids total.

Par ailleurs, une cinématique globale des tassements au cours de la vie

de l'ouvrage a été réalisée compte tenu de la consolidation des Fausses glaises et des Argiles plastiques dans le temps. Les dates jalons ont été fixée à réception de l'ouvrage, 3 ans après, puis 10 ans, 30 ans, 50 ans et enfin 100 ans plus tard.

CONTRÔLES ET ADAPTATION EN PHASE CHANTIER

À partir de la réalisation au préalable de 3 plots d'essai, les paramètres de jet grouting suivants ont été fixés :

→ Composition du coulis : $c/e = 1.00$;
→ Paramètres d'injection de la colonne d'essai C1, à savoir énergie de forage la plus faible des 3 plots d'essai ($E = 70$ MJ/m) :

- Pression de coulis = 450 bars ;
- Débits de coulis = 280 l/mn ;
- Buse = 1 x 5 mm ;
- Temps = 10 s ;
- Pas = 3 cm ;
- Pression d'air = 8 à 12 bars ;
- Débits d'air = 7 000 à 10 000 l/mn ;
- Tours = 25 à 35 tr/mn.

Les plots d'essai ont par ailleurs permis de vérifier que les paramètres retenus permettaient d'atteindre les objectifs fixés pour les colonnes de jet grouting :

→ Diamètre minimal de 1,50 m contrôlé par la méthode du cylindre électrique : les colonnes avaient un diamètre variant de 1,80 m à 2,10 m ;
→ Résistance à la compression à 28 jours ≥ 6.0 MPa sur échantillons prélevés par carottage ;

→ Module de déformations des colonnes en place $\geq 2 000$ MPa mesuré à l'aide de dilatomètre.

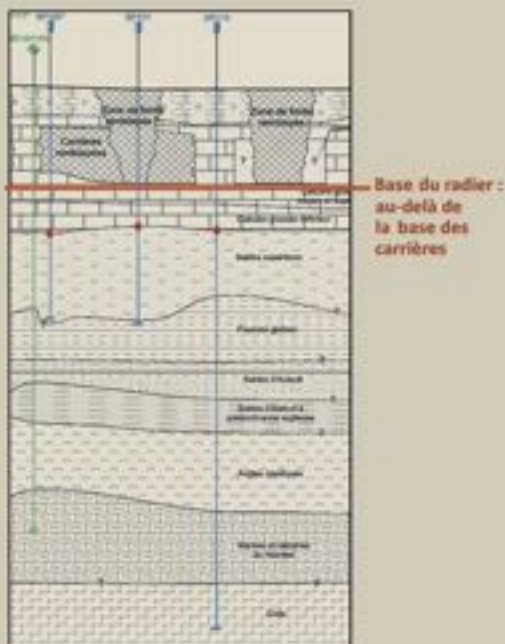
Au total, ce sont 451 colonnes de jet grouting qui ont été exécutées par SEFI Intrafor pour renforcer le sol d'assise du radier.

Les contrôles en cours d'exécution ont porté sur la réalisation de 8 carottages pour prélèvement d'échantillons et écrasement, ainsi que 2 dilatomètres.

Les essais au dilatomètre permettent d'obtenir à la fois un résultat plus global sur le module des colonnes de jet grouting et de mesurer *in situ* des modules dans la plage souhaitée soit 2 000 MPa.

En outre, toutes les diagraphies ont fait l'objet d'un examen. Leur analyse a mis en évidence pour certaines colonnes la présence d'une couche résiduelle de faibles caractéristiques (vitesses d'avancement au forage comprises entre 500 et 1 000 m/h associées à une baisse du couple de rotation à la descente) au-dessus de la cote 20 NGF du traitement par jet grouting. ▷

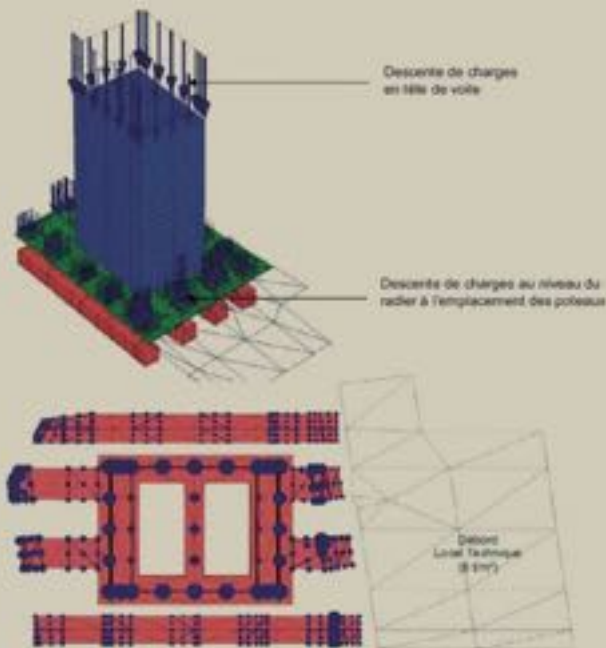
IMPLANTATION DU RADIER



10a

RÉPARTITION DES COLONNES

de jet grouting à usage de fondations sous les éléments les plus chargés



10b

L'implantation de ces anomalies a été reportée et classifiée sur le plan d'exécution des colonnes de jet grouting (figure 13) :

- Y Les colonnes pour lesquelles aucune couche résiduelle n'a été repérée ; le traitement par jet grouting couvre entièrement la zone de transition de caractéristiques médiocres.

- Y Les colonnes pour lesquelles il a clairement été identifié la présence d'une couche résiduelle de faibles caractéristiques au-dessus de la tête des colonnes de jet grouting.

- Y Les colonnes pour lesquelles il persiste un doute sur la présence ou non de cette couche résiduelle. Ce plan met en évidence la présence

REPÉRAGE DE LA ZONE TRAITÉE

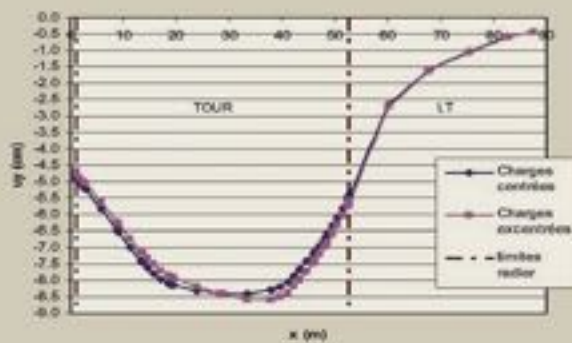
par jet grouting



10c

CUVETTE DE TASSEMENT

engendrée par la construction de la Tour



11

10a- Implantation du radier.

10b- Répartition des colonnes de jet grouting à usage de fondations sous les éléments les plus chargés.

10c- Repérage de la zone traitée par jet grouting.

11- Cuvette de tassement engendrée par la construction de la Tour.

10a- Layout of foundation raft.

10b- Distribution of jet grouting columns for foundations under the most heavily loaded elements.

10c- Layout of jet grouting columns for foundations.

11- Subsidence basin caused by construction of the tower, FUGRO.

de groupes de colonnes juxtaposées identifiées comme présentant une couche résiduelle de faibles caractéristiques au-dessus de la tête du jet grouting.

Des modèles de calculs ont été réalisés et ont montré que la présence de cette couche résiduelle pouvait conduire à des tassements de l'ordre du millimètre à plusieurs millimètres à l'aplomb d'un angle du radier.

En conséquence, il a été décidé de procéder à un traitement complémentaire des colonnes de jet grouting.

Les "règles" suivantes ont été appliquées :

- Seuls des groupes d'au moins quatre colonnes anomales sont préoccupantes ;

- Un groupe d'anomalies est caractérisé par $L =$ somme des longueurs d'anomalies non traitées ; seuls les groupes caractérisés par $L > 2$ m sont à traiter ;

- Le traitement complémentaire au moyen de forages descendus en trame intermédiaire (comme des forages secondaires) commence à 0,3 m sous la cote 20 NGF et se prolonge jusqu'à

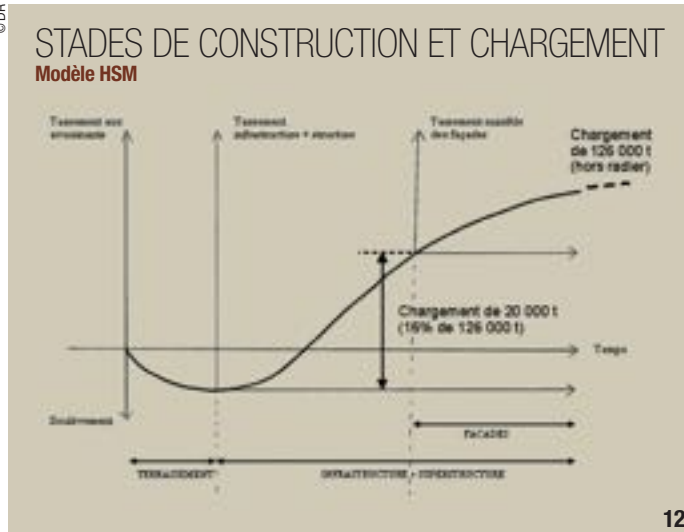
12- Stades de construction et de chargement, modèle PLAXIS HSM.

13- Plan d'interprétation des diagraphies avec colonnes complémentaires.

12- Construction and loading stages, PLAXIS HSM model.

13- Logging interpretation plan with extra columns.

© DR



12

PLAN D'INTERPRÉTATION DES DIAGRAPHIES avec colonnes complémentaires



13

0,3 m au-dessus du niveau de l'anomalie la plus haute du groupe. Ceci a conduit à la réalisation de 3 groupes de colonnes de jet grouting complémentaires (figure 13). Après analyse des diagraphies de ces colonnes supplémentaires, il est apparu que l'ensemble des anomalies avaient été traitées. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNC LEFOULLON – Unibail-Radamco

ARCHITECTE : Jean-Paul Viguier et associés

MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : ARCOBA

STRUCTURE : SETEC TPI

GÉOTECHNIQUE, MISSIONS G2/G4 : TERRASOL

BUREAU DE CONTRÔLE : SOCOTEC

ENTREPRISE GÉNÉRALE : EIFFAGE Construction Grands Projets

SYSTÈME DE FONDATIONS, MISSION G3 : FUGRO Géotechnique

SOUTÈNEMENT ET FONDATIONS SPÉCIALES : BOTTE Fondations (mandataire), SEFI Intrafor (sous-traitant)

ABSTRACT

FOUNDATIONS OF THE MAJUNGA TOWER IN LA DÉFENSE

ÉLODIE BRUNET MANQUAT, EIFFAGE - FRÉDÉRIC DURAND, FUGRO - ÉVELYNE OSMANI, EIFFAGE CONSTRUCTION - OLIVIER PAL, EIFFAGE

The Majunga Tower, located in the Défense business area near Paris and designed by architect Jean-Paul Viguier on behalf of Unibail-Rodamco, is an office building nearly 200 m high. Apart from its specific architectural and energy features, the project, launched since January 2011, involves particular aspects related to the consequences of quarry mining for the infrastructure height, management of site movements with regard to the neighbours, and the adoption of an observational method for retaining structure works. But the main distinguishing feature of the Majunga Tower project is its structural design and the foundation system described in the present article. □

LOS CIMIENTOS DE LA TORRE MAJUNGA, EN LA DÉFENSE

ÉLODIE BRUNET MANQUAT, EIFFAGE - FRÉDÉRIC DURAND, FUGRO - ÉVELYNE OSMANI, EIFFAGE CONSTRUCTION - OLIVIER PAL, EIFFAGE

Erigida en el barrio parisino de La Défense y diseñada por el arquitecto Jean-Paul Viguier por encargo de Unibail-Rodamco, la Torre Majunga es un edificio de oficinas de casi 200 metros de altura. Además de las especificidades arquitectónicas y energéticas, esta obra, iniciada en enero de 2011, contiene particularidades relacionadas con la incidencia de la explotación de canteras sobre la altura de la infraestructura, la gestión de los desplazamientos en el área próxima a la obra y la implantación de un método de observación de las obras de apuntalado. Pero el proyecto de la Torre Majunga se distingue sobre todo por su diseño estructural y el sistema de cimentaciones descritos en el presente artículo. □



LES FONDATIONS DES « TERRASSES DU PORT » À MARSEILLE

AUTEUR : CLÉMENT MOLLARET, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY PIEUX

LES « TERRASSES DU PORT » À MARSEILLE CONSTITUENT UN VASTE PROJET QUI SE SITUE DANS LE PÉRIMÈTRE D'EUROMÉDITERRANÉE, UNE OPÉRATION D'INTÉRÊT NATIONAL QUI DONNE NAISSANCE À UN NOUVEAU QUARTIER AU CŒUR DE LA VILLE. OUTRE LES NOMBREUX COMMERCES, RESTAURANTS ET PARKINGS, LES TERRASSES DU PORT COMPRENNENT NOTAMMENT UNE TERRASSE DE 260 MÈTRES SURPLOMBANT LA MER ET JOUXTENT LE TERMINAL DES FERRIES À DESTINATION DE LA CORSE ET DE LA SARDAIGNE. CE PROJET AMBITIEUX S'ARTICULE AUTOUR DE DEUX IMPORTANTS BÂTIMENTS M1 ET M2 POUR LESQUELS SOLETANCHE BACHY PIEUX A RÉALISÉ LES FONDATIONS SPÉCIALES.

Nouveau pôle d'attraction de la ville de Marseille, les Terrasses du Port s'inscrivent au cœur de l'opération d'intérêt national Euroméditerranée, dans laquelle sont prévus :

- 18 000 logements supplémentaires ;
- 1 million de m² de bureaux et activités ;
- 200 000 m² de commerces, dont le projet des Terrasses du port ;
- 200 000 m² d'équipements publics supplémentaires ;
- 35 000 emplois et 40 000 nouveaux habitants.

Idéalement situées à proximité du vieux port, au cœur du nouveau quartier d'affaires de la Joliette et de la Cité de la Méditerranée, qui s'étend sur près de 5 km le long de la rade, les Terrasses du Port dresseront au printemps 2014 leur architecture audacieuse sur le boulevard du littoral, entre la mer et les docks.



1- Implantation des deux bâtiments.

2- Principe des pieux Starsol.

1- Layout of the two buildings.
2- Starsol piles technique.

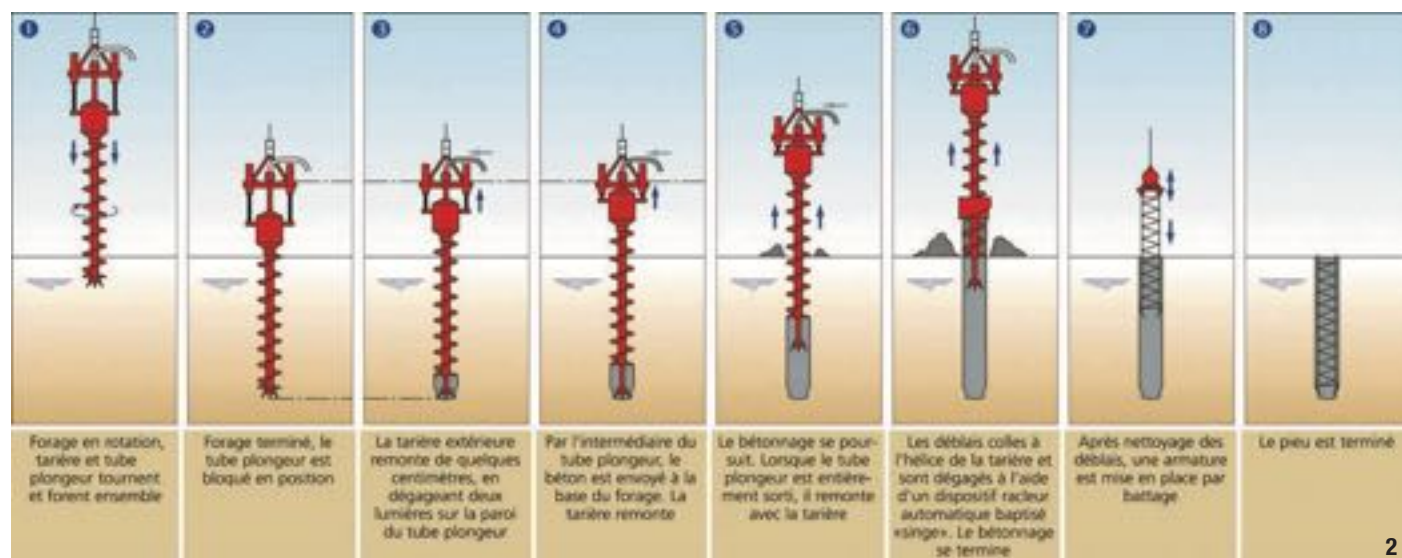
UN PROJET URBAIN AMBITIEUX

Le projet Terrasses du Port a été confié par la société Hammerson à Vinci Construction France.

Il consiste à réaliser, dans l'enceinte portuaire du port autonome de Marseille, un centre de commerces et de loisirs de 54 000 m² doté d'un parking de 6 niveaux.

Les points principaux du projet :

- 54 000 m² de commerces ;
- 160 boutiques ;
- 2 600 places de parking ;
- Une terrasse de 15 m de profondeur sur 260 m de long, à 20 m de haut ;
- Une terrasse pour les loisirs et l'événementiel ;
- Utilisation de la dernière génération des méthodes de construction « durables » labellisée par une certification BREEAM.



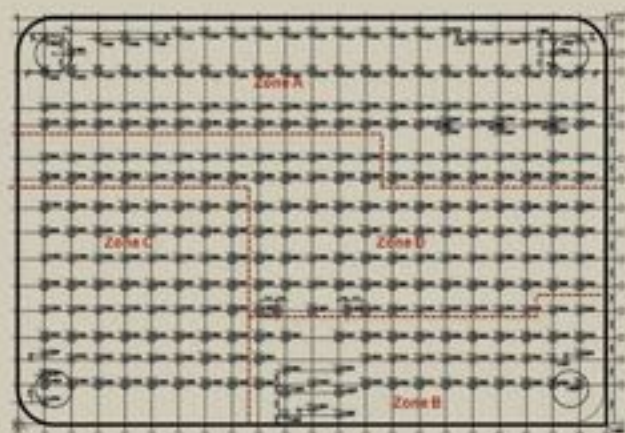


3



4

IMPLANTATION
des différentes zones de travail



5

PHOTOS 3 & 4 © CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

Le projet s'articule autour de deux bâtiments :

- **M1** : Superstructure sur 2 niveaux avec rez-de-chaussée réservé à l'embarquement des ferries, et doté d'un parking de 6 niveaux enterrés, excavés à l'abri d'une paroi moulée nécessitant un terrassement de l'ordre de 16 m de profondeur ;
- **M2** : Superstructure sur 2 niveaux, avec rez-de-chaussée réservé à l'embarquement des ferries et restructuration du bâtiment existant le long du quai du Maroc (figure 1).

LES FONDATIONS SPÉCIALES

Soletanche Bachy Pieux a été chargé, sur ce projet ambitieux, de la réalisation de l'ensemble des fondations du bâtiment M2, ainsi que de la réalisation des poteaux préfondés du parking du bâtiment M1. En effet, les délais d'exécution du chantier étant très courts, la méthode de travail « en taube » a été

3- Foreuse Fundex 3500.

4- Tarière continue de la Fundex 3500.

5- Implantation des différentes zones de travail.

6- Grue Liebherr 845 avec vibreur pour mise en place du tube.

3- Fundex 3500 driller.

4- Fundex 3500 continuous flight auger.

5- Layout of the various work areas.

6- Liebherr 845 crane with vibrator for tube placing.

préférée pour le bâtiment M1, afin de réaliser la dalle supérieure en premier lieu, puis les différents ouvrages en sous-sol, tout en montant la superstructure. Pour ce faire, il était nécessaire de mettre en place des poteaux préfondés servant d'appuis à la dalle supérieure, puis aux planchers réalisés en descendant et liaisonnés aux poteaux par le

biais de poutres. Le chantier étant situé dans l'enceinte portuaire, le phasage des travaux de fondations fut complexe, du fait de l'obligation de laisser en permanence un axe de circulation donnant accès aux ferries. Le chantier a donc été découpé en plusieurs zones exiguës où la réalisation des poteaux préfondés devait se faire simultanément



6

© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY



PHOTOS 7, 8 & 9 © CÉDRIC HELSILY POUR SOLETAÏNCHÉ BACHY

avec la réalisation de la paroi moulée du parking.

Le chantier des Terrasses du Port a été lancé au mois d'août 2010 et a commencé par une première phase de travaux préparatoires, notamment pour déplacer les gares d'embarquement des ferries et réaliser des travaux de dévoiement et de démolition.

Fin mars 2011, les travaux préparatoires se sont achevés et les fondations ont pu commencer. Le projet doit être livré courant 2014.

LES PIEUX DU BÂTIMENT M2

Les travaux pour réaliser les fondations de ce bâtiment ont consisté à mettre en place en moins de 6 semaines, environ

7- Foreuse Mait 240 équipée d'un carottier pour ancrage dans le stampien.

8 & 9- Maintenance des poteaux pour mise à la verticale.

7- Mait 240 driller fitted with a core drill for anchoring in the Stampian. 8 & 9- Column handling for vertical positioning.

200 pieux Starsol (bétonnage au tube plongeur), de 19 m en moyenne de profondeur pour des diamètres variant de 700 mm à 1 000 mm (figure 2).

Le sol concerné par ce projet présentait différents aspects : remblais anciens en tête, puis marnes plus ou moins compactes, et enfin marnes gréseuses (stampien), typiques de la région marseillaise.

Le niveau du stampien n'était pas uniforme sur l'ensemble du projet, et les caractéristiques de cet horizon étaient nécessaires pour reprendre les charges du futur bâtiment : il a donc été décidé de dimensionner les pieux en intégrant un critère d'ancrage de 150 cm dans le stampien.

Pour ce faire, il a été réalisé, avant de démarrer les travaux, des forages d'essai au droit des sondages de la reconnaissance géotechnique pour corréler les paramètres de forage avec le terrain rencontré.

LES FONDATIONS SPÉCIALES EN QUELQUES CHIFFRES

POUR LE BÂTIMENT M2 :

- 194 Pieux Starsol, soit 4 400 ml de forage
- 720 mm < ϕ < 1 020 mm
- Profondeur moyenne : 19 m

POUR LE BÂTIMENT M1 :

- 6 600 ml de forage en diamètre 1 400 mm
- 301 poteaux préfondés béton de 7 à 22 t

Ensuite, pendant l'exécution des travaux, à l'aide des enregistreurs de paramètres de la foreuse qui mesurent en continu l'ensemble des paramètres relatif au forage (pression, poussée, vitesse d'avance...), l'opérateur dans la foreuse avait connaissance en temps réel du terrain qu'il traversait avec la tarière ; il pouvait donc assurer l'ancrage dans le stampien en toute fiabilité, quelle que soit la zone de forage (photos 3 et 4).

LES POTEAUX PRÉFONDÉS DU BÂTIMENT M1

Le projet comportait 301 poteaux préfondés pour le parking du bâtiment M1. Ils étaient disposés, sur une zone de 120 m par 180 m, avec un maillage moyen de 8 m par 8 m.

Les travaux se répartissaient sur quatre zones pour conserver l'accès des voyageurs aux ferries du port autonome de Marseille.

Chaque zone de travail a dû être partagée avec les ateliers de paroi moulée durant toute la durée du chantier (figure 5).

Les poteaux préfondés étaient en béton C60/75. Ils mesuraient 18 m en moyenne, et reprenaient, pour certains, des charges verticales supérieures à 2 000 t. Ils étaient scellés sur 1,50 m dans du béton C60/75 en fond de forage. Ils ont été fabriqués en dehors du chantier avec un aspect fini et n'ont pas reçu d'autres finitions.

En plus des éléments structurels (coupleurs des planchers, réservations pour coffrage des poutres de liaison), l'ensemble des éléments destinés à la manutention a dû aussi être intégré lors de la préfabrication des poteaux : mains de levage, réservations pour le palonnier, barre Gewi en tête.

Les mains de levage permettaient de manutentionner le poteau horizontalement et la barre GEWI en tête était destinée à manutentionner le poteau à la verticale.

Outre les huit géométries différentes requises pour les poteaux, le projet imposa 57 niveaux altimétriques de calage différents. Cela a représenté 99 cas de pose différents pour 301 poteaux préfondés.

Il a donc fallu concevoir un plan de contrôle qualité, et surtout un système de réglage et de guidage spécifique à ce chantier, permettant de respecter les exigences des tolérances d'exécution : +/- 2 cm en tête et < 0,5 % de verticalité.

Le mode opératoire de manutention a dû, lui aussi, intégrer ces contraintes.



10



11



12

LES FORAGES

La technique du pieu foré tubé a été rendue nécessaire par la présence d'eau dès les premiers mètres de forage, ainsi que par la technique de mise en place des poteaux.

Le principe fut de mettre en place un tube provisoire par vibration, jusqu'à la rencontre du toit du stampien, puis de forer à l'intérieur jusqu'à la cote souhaitée (photo 6).

Après les opérations de mise en place et de scellement des poteaux, les tubes étaient extraits à l'aide du vibreur.

Il a été réalisé 301 forages de diamètres 1 400 mm, de 21 à 30 mètres

10- Mise en place d'un poteau.

11- Poteau mis en place.

12- Premiers terrassements et dalle supérieure.

10- Positioning a column.

11- Column placed in position.

12- Initial earthworks and top slab.

de profondeur, à l'aide de deux foreuses traditionnelles (photo 7).

Le toit du stampien étant très variable, il a fallu adapter les longueurs des tubages en permanence pendant toute la durée du chantier. Les données des forages étaient en permanence compilées, afin de prévoir les isobathes du toit du stampien, et donc de pouvoir anticiper les longueurs des tubes de forage.

LE RÉGLAGE ET LA MISE EN PLACE DES POTEAUX

L'élanement des poteaux ainsi que leur poids ont rendu nécessaire l'utilisation de deux grues de manutention



13a



13b

**13a & 13b-
Terrassement
sous dalle.**

**13a & 13b-
Earthworks
under slab.**

(Liebherr 845 et RB CH 135) destinées à les mettre à la verticale (photos 8 et 9). Une fois cette opération délicate terminée, la mise en place du poteau pouvait commencer.

Un dispositif appelé « casquette » a été spécialement conçu pour assurer le réglage et le guidage des poteaux. Il se positionnait sur les tubages et permettait un réglage fin en x, y et z par un géomètre.

Une cage d'armatures était fixée sur les attentes en pied de poteau. Après bétonnage du pieu, le poteau était descendu dans le forage et réglé avec précision.

Un jour plus tard, l'espace annulaire du pieu était comblé et le tube de forage extrait (photos 10 et 11).

Ce dispositif a permis de positionner les 301 poteaux prévus au marché dans les tolérances strictes d'exécution.

Début novembre 2011, les 8 premiers mètres des poteaux ont été découverts avec le début du terrassement (photo 12).

La dalle supérieure a été achevée en mars 2012, et le terrassement en taube devrait s'achever au mois de juin, permettant de découvrir l'intégralité des poteaux (photos 13a & 13b). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SCI HAMMERSON

**ARCHITECTE MAÎTRISE D'ŒUVRE :
ATELIER AQUITAIN D'ARCHITECTES ASSOCIÉS**

BET STRUCTURE / VRD : INGEROP

BUREAU DE CONTRÔLE TECHNIQUE : BUREAU VERITAS

BET GÉOTECHNIQUE : FUGRO GÉOTECHNIQUE

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : VINCI CONSTRUCTION FRANCE

FONDATEURS : M2 : SOLETANCHE BACHY PIEUX

M1 - PRÉFONDÉS : SOLETANCHE BACHY PIEUX

ABSTRACT

FOUNDATIONS OF THE "TERRASSES DU PORT" IN MARSEILLE

CLÉMENT MOLLARET, SOLETANCHE BACHY

The "Terrasses du Port" in Marseille is a vast project located in the Euroméditerranée area, an operation of national importance which is giving rise to a new district in the heart of the city. In addition to numerous shops, restaurants and parking lots, the Terrasses du Port includes, in particular, a 260-metre terrace overhanging the sea and is adjacent to the terminal for ferries leaving for Corsica and Sardinia. This ambitious project centres around two large buildings, M1 and M2, for which Soletanche Bachy executed the special foundations. □

LOS CIMIENTOS DE LAS "TERRASSES DU PORT" EN MARSELLA

CLÉMENT MOLLARET, SOLETANCHE BACHY

Las "Terrasses du Port" (terrazas del puerto) de Marsella constituyen un amplio proyecto que se inscribe en el perímetro de Euroméditerranée, una operación de interés nacional que ha dado nacimiento a un nuevo barrio en el centro de la ciudad. Además de numerosos comercios, restaurantes y parkings, las Terrasses du Port incluyen una terraza de 260 metros con vistas al mar, colindante con la terminal de ferries con destino a Córcega y Cerdeña. Este ambicioso proyecto se articula en torno a dos imponentes edificios, M1 y M2, cuyos cimientos especiales han sido realizados por Soletanche Bachy. □



RÉGLEMENTATION SISMIQUE ET RENFORCEMENT DE SOL : UTILISATION DES COLONNES BI-MODULES PROFONDES DANS LE BASSIN GRENOBLOIS. EXEMPLE DU PROJET IMMOBILIER DU PRÉ MAYEN À MONTBONNOT

AUTEURS : STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD, DIRECTEUR DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES / AUVERGNE - PASCAL GIRAUD, BOUYGUES IMMOBILIER, DIRECTEUR TECHNIQUE RÉGIONAL - GILLIAN ERBEJA ET EMMANUEL JAVELAUD, MÉNARD, DIRECTION ÉTUDES ET TRAVAUX DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES/AUVERGNE

L'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION SISMIQUE FRANÇAISE ET DES RÈGLES PROFESSIONNELLES CONDUIT À UNE ANALYSE PLUS AVANCÉE DES EFFETS INERTIELS ET CINÉMATIQUES DE LA SOLLICITATION SUR LES ÉLÉMENTS DE RENFORCEMENT DE SOL. POUR UN PROJET IMMOBILIER SITUÉ À MONTBONNOT (ISÈRE), UN RENFORCEMENT EXCEPTIONNEL AU MOYEN DE COLONNES BI-MODULES (CBM) A CONCERNÉ ENVIRON 27 M D'ÉPAISSEUR DE SOL COMPRESSIBLE EN ZONE SISMIQUE, SOULIGNANT L'IMPORTANCE DE LA CLASSIFICATION DES SOLS AU SENS DE LA NORME EN 1998.

INTRODUCTION

La protection des ouvrages neufs à risque normal vis à vis des sollicitations sismiques est régie par les règles constructives décrites dans les normes EN 1998 (2005), dites Eurocode 8. Ces règles concernent également les éléments de fondation.

Pour l'amélioration et le renforcement des sols en zone sismique, un guide de recommandations élaboré sous le patronage de l'Association Française du Génie Parasismique est attendu courant 2012. Dans le cadre des travaux de renforcement de sol au moyen d'inclusions rigides en béton, ces documents

insistent sur l'interaction sol-structure en demandant la prise en compte de l'effet cinématique et inertiel dans leur justification au séisme. La synthèse des cas à prendre en considération pour l'étude des effets inertiels et cinématiques sur les inclusions rigides en mortier ou en béton contribuant à la por-

tance est présentée dans le Tableau 2. Cet article présente le cas d'un projet immobilier situé dans la vallée du Grésivaudan en Isère, à Montbonnot. L'épaisseur des sols compressibles au droit du projet est d'environ 27 m au sein d'un bassin rempli par près de 300 m de sédiments.

1- Interventions successives des ateliers de forage pour inclusions rigides de type CMC™ (à droite) et colonnes ballastées (à gauche). Le Massif de Belledonne est en arrière-plan.

2- Vue aérienne du chantier de colonnes bi-module.

3- Schéma de principe du piégeage des ondes avec analogie optique du rai incident et réfléchi.

a) Piégeage à l'échelle d'un bassin sédimentaire. b) Piégeage dans une formation superficielle, avec V_{s1} et V_{s2} , les vitesses des ondes de cisaillement dans les formations 1 et 2.

4- Vue architecturale du projet.

1- Successive drilling equipment operations for rigid inclusions of the CMC™ type (right-hand) and ballasted columns (left-hand).

The Belledonne mountains are in the background.

2- Aerial view of the two-module column site.

3- Schematic diagram of wave trapping with optical comparison of the incident and reflected ray. a) Trapping on the scale of a sedimentary basin.

b) Trapping in a surface formation, with V_{s1} and V_{s2} being the shear wave velocities in formations 1 and 2.

4- Architect's view of the project.



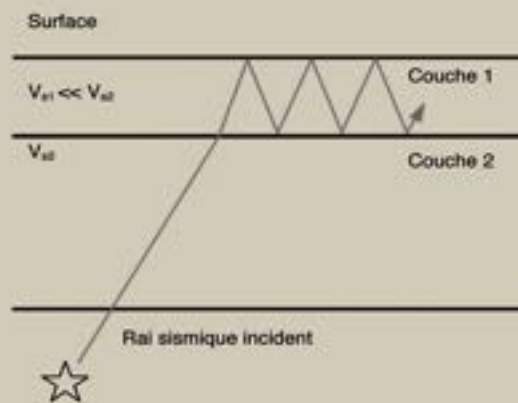
2

PIÉGEAGE À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN SÉDIMENTAIRE



3a

PIÉGEAGE DANS UNE FORMATION SUPERFICIELLE



3b



4

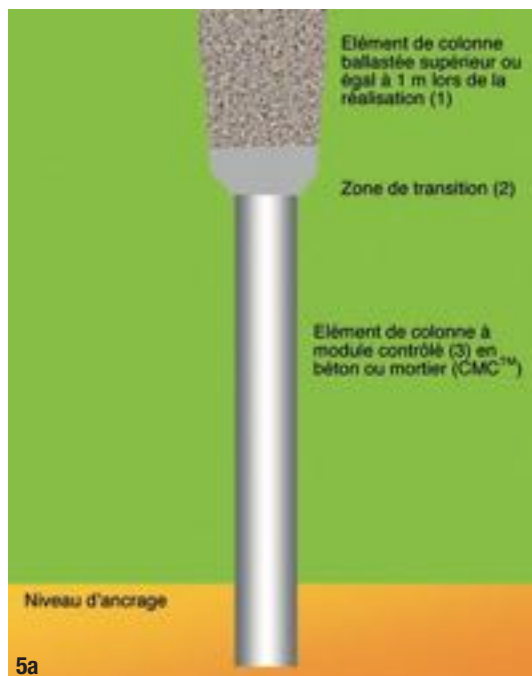
© BOUYGUES IMMOBILIER

Cette configuration souligne l'importance de la caractérisation du contexte sismique dans le choix et la justification des solutions de renforcement de sol, ici des colonnes bi-modules. Cette technique a été retenue en variante à un mode de fondation profonde sur pieux, exigeant un ancrage profond et une plus forte interaction sol-structure. Une autre solution aurait consisté en la réalisation d'un radier général mais sa construction aurait imposé plusieurs phases avec une durée de réalisation globale plus longue.

RAPPEL DU CONTEXTE SISMIQUE RÉGLEMENTAIRE

La réglementation française en matière de justification aux séismes des ouvrages à risque normal a évolué depuis 2010 avec les mises en application d'un nouveau zonage sismique de la France (Décrets n°2010-1254 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010, Arrêté du 22 octobre 2010, Arrêté du 19 juillet 2011) et de nouvelles règles constructives décrites dans les normes NF EN 1998 (2005), dites Eurocode 8. Ces règles prennent en compte la modification du mouvement sismique en surface dans les formations superficielles considérées comme pouvant être à l'origine d'effet de site se traduisant par une amplification du signal et un allongement de la durée de celui-ci. L'amplification des ondes peut-être due à leur piégeage dans les formations superficielles reposant sur un substratum (figure 3a). Le piégeage peut également se produire entre la surface et une formation sous-jacente offrant une impédance $\rho_2 \cdot V_{s2}$ propice à la réflexion des ondes à l'interface (figure 3b), avec ρ_2 et V_{s2} respectivement la masse volumique et la vitesse des ondes de cisaillement du substratum (Brûlé et al., 2012).

La définition des spectres de réponse élastiques utilisés pour la justification des ouvrages traduit le phénomène physique de mise en résonance des bassins sédimentaires. Ces spectres sont dépendants notamment de deux paramètres : la vitesse des ondes de cisaillement V_s et l'épaisseur de remplissage sédimentaire. C'est ainsi que le principal paramètre retenu est le profil de vitesse des ondes de cisaillement dans les formations superficielles, idéalement jusqu'au substratum sismique lorsque des études particulières sont réalisées, sinon limité à 30 m pour identifier les sols selon la classification proposée dans le document : sols de classe A à E et S_1 et S_2 .



5a



5b

PHOTOS 4a & 4b © MÉNARD

5- Principe des colonnes bi-module (a). Visualisation d'un dégarnissage de la tête de CBM (b). D'après le cahier des charges Ménard.

6a- Atelier de forage pour inclusions rigides de type CMC™ en configuration de traitement pour grande profondeur (30 m). En arrière plan, la Dent de Crolles.

6b- Vue aérienne illustrant la co-activité sur le chantier de renforcement.

5- Two-module column technique (a). View of stripping of the two-module column head (b). Based on the Ménard specifications.

6a- Drilling equipment for rigid inclusions of the CMC™ type in very deep treatment configuration (30 m). In the background, the Dent de Crolles mountain.

6b- Aerial view illustrating co-activity on the strengthening site.



6a



6b

Il est nécessaire de souligner que les conséquences d'une classification inadaptée sont plus significatives avec l'Eurocode 8 qu'avec les anciennes règles dites PS92 (Norme NF P 06-013, 1995) car les spectres sont plus contrastés en valeur d'accélération entre les différentes classes de sol.

CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Le projet concerne la construction d'un ensemble immobilier à une dizaine de kilomètres à l'Est de Grenoble, dans la vallée du Grésivaudan.

Le programme concerne des villas jumelées avec un étage et des bâtiments de logements de quatre étages

avec ou sans sous-sol débordant (figure 4). L'emprise au sol des bâtiments d'environ 3 000 m². Le projet se trouve en zone sismique 4 sur une échelle allant jusqu'à 5.

Le renforcement de sol envisagé au moyen de colonnes bi-modules, c'est-à-dire des colonnes constituées d'une partie inférieure en béton surmontée

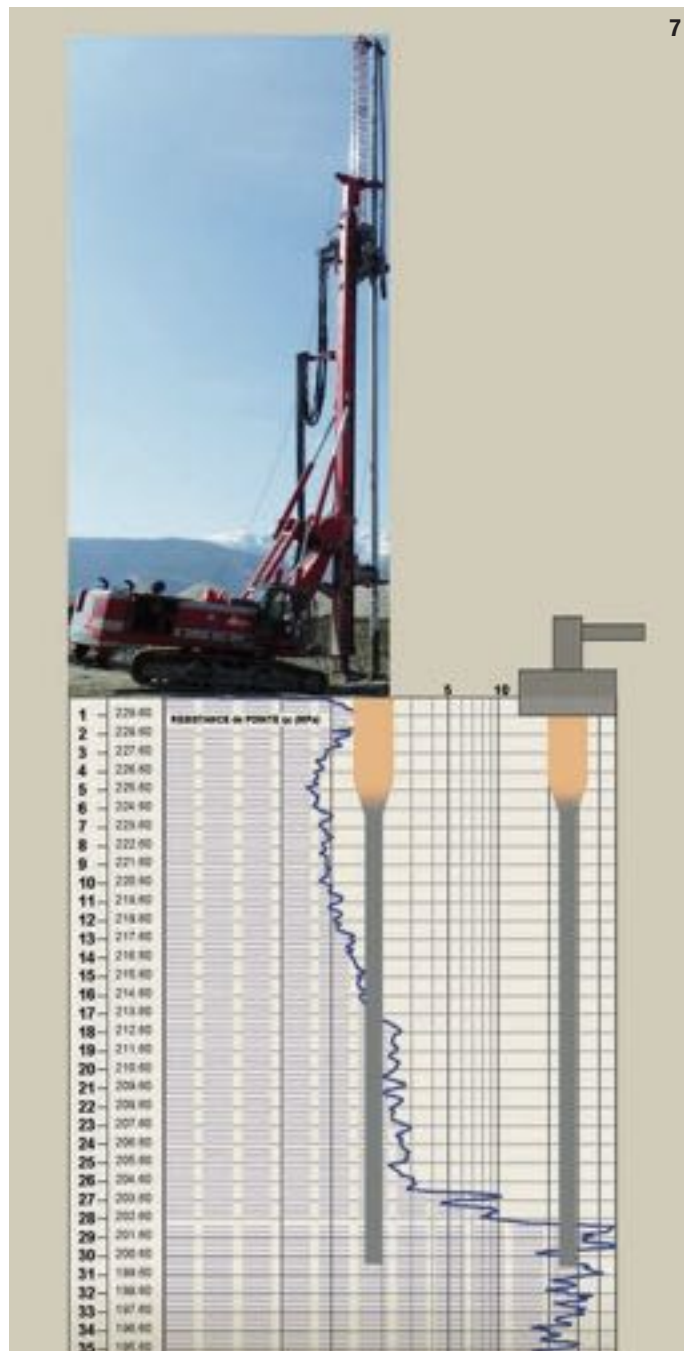
d'un élément en ballast, intervient à la fois pour la portance mais aussi pour la réduction des tassements sous charge de service (figures 5a et 5b). Les CBM ne sont localisées qu'au droit des charges des éléments porteurs : semelles filantes et isolées. Aux états limites de service, les charges apportées au sol par les ouvrages sont inférieures à 240 t pour les semelles isolées et 45 t/ml pour les semelles filantes. Comme illustré en photo 1, la réalisation de colonnes bi-modules nécessite deux ateliers de renforcement. L'un pour les inclusions en béton ou mortier et le second pour la réalisation de la tête en colonne ballastée. La valeur ajoutée réside notamment dans la réalisation soignée de l'interface ou zone de transition imposant une intervention à intervalle de temps ciblé entre les deux ateliers.

TABLEAU 1 : Caractéristique des sols au droit du projet. Les valeurs des paramètres mécaniques sont compatibles avec des déformations dans la gamme inférieure à 10⁻⁴. Avec p_l* et E_M la pression limite et le module pressiométrique, α le coefficient rhéologique, q_c la résistance de pointe au pénétromètre statique, c' et φ' la cohésion et l'angle de frottement en condition drainée et γ le poids volumique.

	Cote (m)		q _c [MPa]	E _M [MPa]	α	p _l * [MPa]	c' [kPa]	φ' [°]	γ [kN/m ³]
	Sommet	base							
Sol argileux	229.0 à 231.2	202	1	2	1/2	0,2	3	25	18
Substratum géotechnique : sables et graviers	202	-	10	30	1/3	3	1	30	18

7- Montage permettant d'apprécier la profondeur de traitement, le gabarit du matériel de forage mis en œuvre et les caractéristiques mécaniques des sols traversés jusqu'à l'ancrage (sondage réalisé par GINGER). En ordonnée, la profondeur est indiquée depuis le terrain naturel avant terrassement en déblai.

7- Test setup to assess depth of treatment, gauge of drilling equipment employed and mechanical properties of the soils passed through down to the anchoring (test boring performed by Ginger). On the vertical axis, the depth is shown from the natural ground before moving excavated material.



7

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET SISMIQUE

Pour la partie constitutive des CBM en béton ou mortier, la justification au séisme a été effectuée conformément aux règles constructives décrites dans la norme EN 1998 et en tenant compte de l'entrée en vigueur en 2011 du nouveau zonage sismique de la France. En raison des caractéristiques lithologiques et géométriques du bassin grenoblois (remplissage de plusieurs centaines de mètres, vallée en « U » propice au piégeage des ondes – voir figure 3), une identification précise des sols a été recherchée en complément des études géotechniques afin d'avoir une

TABLEAU 2 : Prise en compte des effets inertiels (I) et cinématiques (C) dans la justification des inclusions rigides contribuant à la portance (d'après Brûlé et al., 2010). La nomenclature des classes de sol, des zones sismiques et des catégories d'importance des ouvrages est celle de la norme EN 1998 (2005).

Classes de sol	Zones sismiques 2 à 5 Catégorie d'importance des ouvrages à risque normal			
	I	II	III	IV
A		I	I	I
B		I	I	I
C		I	I	I
D		I	C+I	C+I
E		I	C+I	C+I
S1		I	C+I	C+I
S2		I	C+I	C+I

classe de sol traduisant le plus fidèlement les effets de site lithologiques. L'Eurocode 8 demandant de privilégier l'utilisation des vitesses des ondes de cisaillement, les données disponibles ont été utilisées (Cornou, 2002). Les bâtiments du projet sont quant à eux soumis aux règles PS92 avec le zonage en vigueur avant le 1^{er} mai 2011. Ainsi, l'épaisseur de formations superficielles au droit du projet peut être estimée à environ 300 m. Les caractéristiques de ces formations sont précisées en Tableau 1. Les sols sont de classe C d'après la norme EN 1998, sur la base des vitesses V_s des ondes de cisaillement, c'est à dire 230 m/s pour les trente premiers mètres depuis la surface du sol. D'après le Tableau 2, seul l'effet inertiel est à prendre en considération.

La nécessité de prendre en considération les effets inertiels sur les éléments de renforcement de sol impose le calcul des efforts internes générés dans les inclusions en béton. Afin de limiter ces effets sur l'intégrité des éléments de renforcement, la solution choisie a consisté à interposer un élément en matériau granulaire au rôle de découplage avec la structure, de type colonne ballastée, entre la sous-face des semelles et la tête de l'inclusion rigide en béton. Le procédé colonne bi-module permet de répondre à cette attente.

Quand elle est justifiée, cette technique permet d'envisager un découplage de la structure avec les éléments de renforcement, ce qui peut être un avantage technique et économique par rapport aux pieux en raison des efforts sismiques appliqués en tête de ces éléments en zone sismique 4 à 5.

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

Les travaux de renforcement des sols avec les CBM ont été réalisés au printemps 2012.

Les colonnes bi-modules réalisées ont pour caractéristiques un fût en béton de 320 mm de diamètre avec une tête en colonne ballastée de 800 mm de diamètre.

La longueur du tronçon en ballast est d'un mètre entre la sous-face de la semelle et le début de l'inclusion rigide en béton.

Les objectifs de tassement absolus ont été fixés à 2 cm avec nécessité de pouvoir dimensionner les fondations superficielles avec une contrainte équivalente sous semelle de 0.2 MPa aux états limites de service.

En raison des charges pouvant atteindre 44 t/ml pour les appuis filants et en raison du caractère dimensionnant de la partie colonne ballastée par rapport au fût d'inclusion rigide, la disposition géométrique retenue a parfois conduit à deux lignes de CBM rapprochées respectant toutefois les critères d'entraxe du cahier des charges Ménard.

En raison des faibles caractéristiques mécaniques des sols argileux présentant une résistance de pointe q_c proche de 1 MPa (Tableau 1), les rendements pour les inclusions rigides pouvaient dépasser 600 ml/jour (figure 6).

Le montage de la figure 7 permet de donner un aperçu en deux dimensions de la profondeur de traitement et du principe retenu de fondation superficielle.

Pour le constructeur, cette solution a permis d'envisager une réalisation du gros œuvre en une seule phase, contrairement à une solution sur radier pour lequel des lacunes de mise en œuvre du coulage du béton étaient incontournables pour toutes les zones débordantes d'infrastructures correspondant aux places de stationnement, de même pour l'ensemble des balcons repris par cette même infrastructure. Ce phasage aurait eu un impact direct sur le coût du gros œuvre avec un délai d'exécution supplémentaire estimable à quatre mois pour l'opération.

La solution retenue a également permis de limiter les effets parasites comme une durée d'ouverture plus importante des terrains sujets à des venues significatives d'eaux collinaires (photo 8), avec des aléas d'éboulement des talus. La solution choisie a permis d'éviter le phasage du gros œuvre avec un objectif de maîtrise du planning d'exécution. □



PRINCIPAUX INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SCI Pré Mayen

PILOTE DU PROJET : Bouygues Immobilier

ARCHITECTE : Tardy-Rolle-Ancel et Nicolet

BUREAU DE CONTRÔLE : SOCOTEC

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Germain Bonne et IN SITU

BUREAU D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE : GINGER

BUREAU DE STRUCTURE : IBSE

ENTREPRISE DE RENFORCEMENT DES SOLS : MENARD

8- Talus dans les argiles sensibles aux variations de teneur en eau avec venues d'eau ponctuelles.

8- Earth bank in clays sensitive to variations in water content with localised water ingress.

[Références bibliographiques]

- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».
- Arrêté du 19 juillet 2011 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».
- Brûlé S., Javelaud E. (2012) Méthode H/V en géotechnique : application à un modèle bi-couche. Soumis à la *Revue Française de Géotechnique*.
- Brûlé S., Javelaud E., Plomteux C. (2010) Inclusions rigides pour bâtiments en zone sismique et Eurocode 8, *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010*, 7-9 juillet 2010, Grenoble, France, 579-584.
- Cornou C. (2002) Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes françaises) : implication pour les effets de site. Thèse de l'Université Joseph Fourier – Grenoble 1.
- Eurocode 8 (2005) Calcul des structures pour leur résistance au séisme – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. NF EN 1998-1 Comité Européen de Normalisation.

ABSTRACT

SEISMIC REGULATIONS AND SOIL REINFORCEMENT: USE OF DEEP TWO-MODULE COLUMNS IN THE GRENOBLE BASIN. EXAMPLE OF THE PRE MAYEN REAL ESTATE PROJECT AT MONTBONNOT

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - PASCAL GIRAUD, BOUYGUES IMMOBILIER - GILLIAN ERBEJA & EMMANUEL JAVELAUD, MÉNARD

Changes in French seismic regulations and professional codes are leading to more advanced analysis of the inertial and kinematic effects of loading on soil reinforcing elements. For a real estate project at Montbonnot (Isère region), exceptional strengthening with two-module columns was used on about 27 m of compressible soil thickness in a seismic zone, underlining the importance of soil classification within the meaning of the EN 1998 standard. □

NORMATIVA SÍSMICA Y REFUERZO DEL SUELO: USO DE COLUMNAS BIMODULARES PROFUNDAS EN LA CUENCA DE GRENOBLE. EJEMPLO DEL PROYECTO INMOBILIARIO DE PRE MAYEN EN MONTBONNOT

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - PASCAL GIRAUD, BOUYGUES IMMOBILIER - GILLIAN ERBEJA & EMMANUEL JAVELAUD, MÉNARD

La evolución de la normativa sísmica francesa y las normas profesionales conduce a un análisis más detallado de los efectos inerciales y cinéticos de las tensiones sobre los elementos de refuerzo del suelo. En un proyecto inmobiliario realizado en Montbonnot (departamento francés de Isère), se ha aplicado un refuerzo excepcional por medio de columnas bimodulares (CBM) sobre 27 metros de espesor de suelo compresible en zona sísmica, destacando la importancia de la clasificación de los suelos con arreglo a la norma EN 1998. □



TERRE ARMÉE
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

Leader du marché des sols renforcés, Terre Armée propose depuis plus de 40 ans ses solutions de soutènement aux nombreux acteurs du génie civil.

Les technologies Terre Armée® permettent une large gamme d'applications : du domaine des ouvrages d'art, avec les solutions de culées porteuses, jusqu'à l'aménagement urbain avec les parements TerraTrel®.

*Tramway T2 à Issy Les Moulineaux - Murs de rampe TerraSet®
Maitre d'ouvrage RFF/RATP*



UNE PAROI DE SOUTÈNEMENT RÉALISÉE EN DEEP SOIL MIXING EN RÉGION PARISIENNE

AUTEURS : BENOIT PAINEAU, INGÉNIEUR COMMERCIAL, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES AGENCE ÎLE-DE-FRANCE ET RÉGION OUEST - CYRIL COPPALLE, DIRECTEUR D'AGENCE, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES AGENCE ÎLE-DE-FRANCE ET RÉGION OUEST

LE DEEP SOIL MIXING EST UNE TECHNIQUE DE RENFORCEMENT DE SOL QUI CONSISTE À MÉLANGER MÉCANIQUEMENT LE SOL EN PLACE AVEC DU COULIS DE LIANTS HYDRAULIQUES DE MANIÈRE À OBTENIR DES COLONNES DE « BÉTON DE SOL ». CETTE TECHNIQUE PEUT AVOIR DE NOMBREUSES APPLICATIONS, EN RENFORCEMENT DE SOLS OU EN SOUTÈNEMENT. ELLE OFFRE LES AVANTAGES ÉCOLOGIQUES ET ÉCONOMIQUES LIÉS À UNE CONSOMMATION EN LIANTS HYDRAULIQUES ET UN VOLUME DE DÉBLAIS PLUS FAIBLES QUE LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES. KELLER FONDATIONS SPÉCIALES A MIS EN ŒUVRE CETTE TECHNIQUE POUR UN PROJET ORDINAIRE DE PAROI EN MILIEU URBAIN.



CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

Il s'agit de la construction d'un immeuble de logements sur la commune du Vésinet (Yvelines) en région parisienne. Le maître d'ouvrage, la SCI Atland, a acquis deux parcelles occupées initialement chacune par un pavillon pour les réunir en une seule

et y construire une résidence occupant toute la surface en sous-sol et des volumes en élévation dessinés en deux ailes distinctes.

Le projet est conçu en R+3 et R+4 avec deux niveaux partiels de sous-sol pour les parkings (illustration 2). La surface issue de la réunion des deux parcelles initiales forme une dent creuse

1- Vue générale de la fouille.

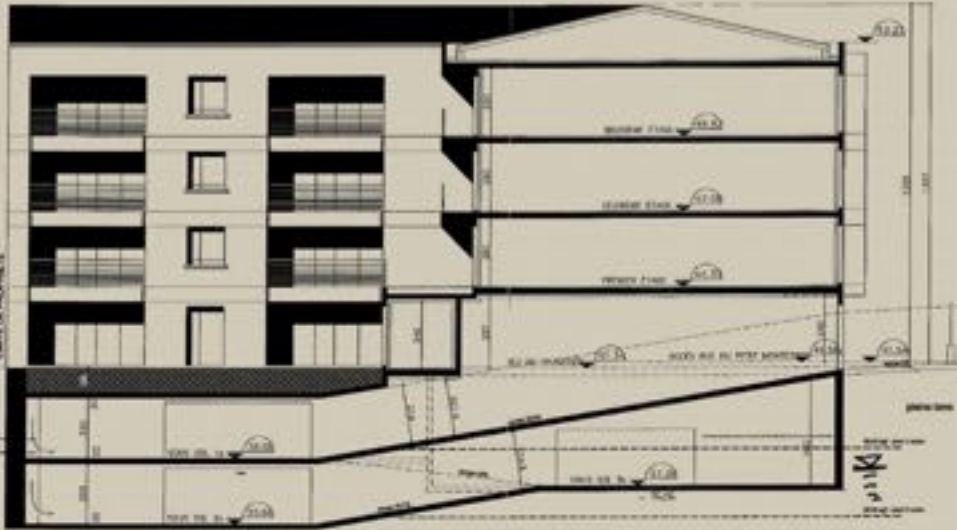
1- General view of excavation.

encastrée entre la route de Montesson et la rue du Petit Montesson d'une part, et deux bâtiments en mitoyenneté immédiate.

La surface au sol du projet est de 845 m². Il s'agit donc de concevoir un projet de soutènement permettant d'utiliser au mieux la totalité de cette petite surface pour les sous-sols.

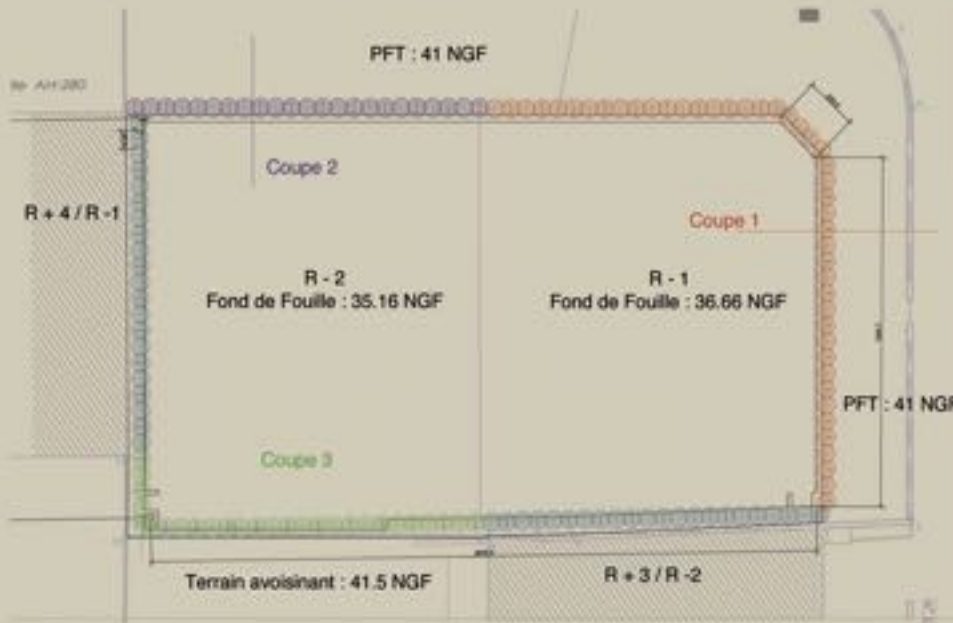
VUE EN COUPE DU PROJET

2



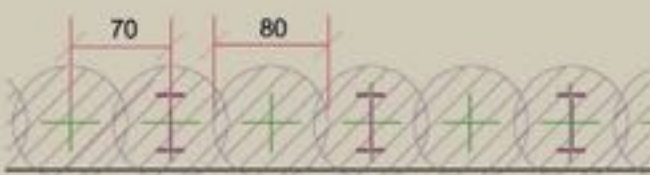
VUE EN PLAN DE LA PAROI

3



COUPE DE PRINCIPE DE LA PAROI

4



2- Vue en coupe du projet.
3- Vue en plan de la paroi.
4- Coupe de principe de la paroi.

2- Cross-section view of the project.
3- Plan view of the wall.
4- Schematic cross section of the wall.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE DU SITE

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES EN PHASE AVANT-PROJET

Selon la carte géologique locale, les terrains attendus sont les suivants : remblais d'épaisseur variable, puis les alluvions anciennes, une épaisseur résiduelle des formations de l'Yprésien, les marnes de Meudon et la craie. Une étude de sol de type G12 selon la norme NFP 94-500 a été confiée par la SCI Atland à la société Roc Sol. Le programme d'investigation convenu entre le géotechnicien et le maître d'ouvrage était le suivant : deux sondages pressiométriques profonds de 15 m, un sondage pressiométrique profond de 25 m, un équipement piézométrique profond de 12 m, deux puits manuels pour investigation des fondations des sous-sols mitoyens, un sondage carotté à 12 m de profondeur avec essais de laboratoire (cisaillement CU+U). Le rapport de cette étude a été établi en octobre 2010. Il met en évidence les terrains suivants : une couverture de terre végétale et de remblais sur 0,6 m à 1,8 m de profondeur, des sables graveleux et des sables fins, quasi exempts de phase argileuse de 3 à 3,8 m de profondeur, les argiles plastiques sur 3 à 4 m de profondeur puis le marno-calcaire de Meudon et la craie. Les mesures piézométriques effectuées pendant cette campagne mettent en évidence un niveau d'eau qui se situe entre 3,6 m et 3,9 m par rapport au terrain naturel. Les compétences mécaniques se répartissent de la manière suivante : correctes dans les alluvions (pressions limites comprises entre 2 et 3 MPa), avec des passages moyens dans les épaisseurs de sables plus fins (pressions limites comprises entre 1 et 0,5 MPa), elles sont encore moyennes dans les argiles plastiques, elles gagnent en compacité dans les marno-calcaires (pressions limites supérieures à 1,5 MPa) et mettent en évidence une craie bien compacte (pressions limites supérieures à 3,0 MPa). Les essais de laboratoire ont permis de dégager les valeurs suivantes de cohésion et d'angles de frottement : dans les remblais, on retient une cohésion nulle et un angle de frottement à court et à long terme égale à 25°, cette valeur passe à 30° dans les alluvions anciennes. Dans les argiles plastiques, on retient une cohésion à court et à long terme égale à 20 KPa et un angle de frottement interne à court et à long terme égale à 10° ; ces valeurs sont respectivement de 20 KPa et 30° au sein des marnes de Meudon.

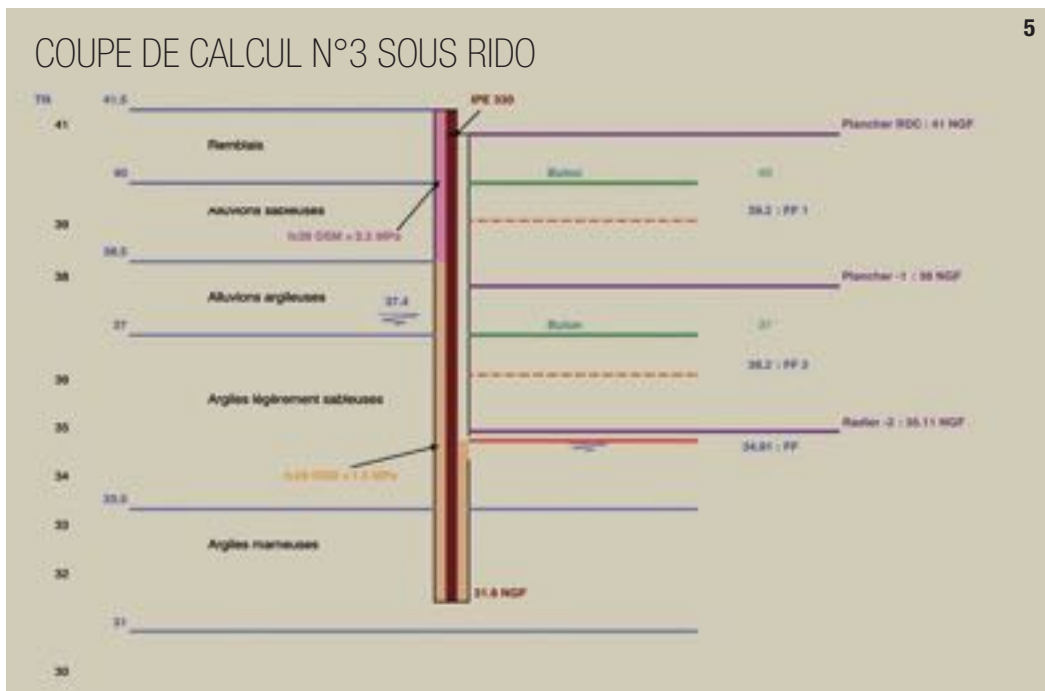
ÉTUDES GÉOTECHNIQUES EN PHASE PROJET

Une mission géotechnique de type G2 selon la norme NFP 94-500 est confiée au bureau d'études FONDETUD pour le dimensionnement d'une solution de type parois moulées. Outre la réalisation de ce dimensionnement, cette mission met en évidence la nécessité d'investigations complémentaires pour mettre en évidence le niveau d'eau de la nappe du Montien ainsi que sa perméabilité. C'est pour cette raison qu'une nouvelle mission de type G5 selon la norme NFP 94-500 sera confiée au bureau d'études Compétence Géotechnique afin de lever ces aléas géotechniques. Cette investigation sera menée en réalisant deux piézomètres dont un crépiné de 15 à 20 mètres afin d'isoler la nappe du Montien. On réalisera également quatre essais Lefranc, un dans chaque horizon reconnu, afin d'approcher des valeurs de perméabilité pour chacun d'entre eux et d'avoir les éléments nécessaires pour vérifier la stabilité du bouchon naturel. Les valeurs de perméabilité issues de ces essais sont les suivantes : de l'ordre de 8.10^{-6} m/s dans les alluvions et de 3.10^{-6} m/s dans les argiles ; on trouve ensuite les marnes moins perméables avec $k = 1.10^{-7}$ m/s puis une perméabilité en effet plus importante dans les craies avec $k = 7.10^{-6}$ m/s. Dans le cadre de l'étude d'exécution menée par Keller Fondations Spéciales (mission G3, selon la norme NFP 94-500), Keller confiera à nouveau au bureau d'études Compétence Géotechnique la réalisation d'investigations complémentaires pour affiner certaines données. Le programme d'investigations est le suivant : réalisation de deux sondages complémentaires de profondeur 10,5 m avec réalisation d'essais au pressiomètre selon la norme NFP 94-110 et d'essais au picnomètre selon la norme XP P94-120. Ceci a permis de dégager des cohésions à court terme dans les argiles. Ces valeurs ont été arrêtées de 6 à 60 KPa selon les niveaux.

DIMENSIONNEMENT DE LA PAROI EN COLONNES SÉCANTES DE DEEP SOIL MIXING

Ce dimensionnement a été réalisé par le bureau d'études interne de Keller Fondations Spéciales. Les données topographiques d'entrée sont les suivantes : terrain naturel à 41 NGF, la plateforme de travail s'établit à 40,6 NGF, le niveau 0,00 du projet à 41,34 NGF, le niveau haut des radiers à 37,06 NGF dans la

COUPE DE CALCUL N°3 SOUS RIDO



5- Coupe de calcul n°3 sous RIDO.
6- Vue de l'installation générale de chantier.
7- Atelier proche d'un bâtiment mitoyen.

5- Design cross section No. 3 under RIDO.
6- View of general site facilities.
7- Equipment close to an adjoining building.

zone en R-1 et à 35,56 NGF dans la zone en R-2, le niveau bas des fonds de fouille à 36,66 NGF dans la zone R-1 et à 35,16 NGF dans la zone R-2. Pour prendre en compte toutes les particularités du site liées aux mitoyens et aux différents niveaux de fond de fouille, l'étude sera menée selon 3 coupes différentes (illustration 3). La paroi est constituée de colonnes de Deep Soil

Mixing de diamètre 0,8 m espacées de 0,7 m. Une colonne sur deux est armée d'un profilé métallique (illustration 4). En phase de dimensionnement, on considère une résistance à 28 jours du béton de sol obtenu par Deep Soil Mixing égale à 2,5 MPa dans les alluvions sableuses et 1,5 MPa dans les horizons argileux. Les profilés métalliques mis en place dans les colonnes

TABLEAU 1 : PRODUIT D'INERTIE DE LA PAROI OBTENUE

$$\frac{E_{DSM} \times I_{colonnesDSM} + E_{acier} \times I_{IPE} - E_{DSM} \times I_{IPE}}{e_{IPE}} = (EI)_{paroi}$$

sont de type IPE 330. Voir le tableau 1 pour le produit d'inertie de la paroi ainsi obtenue.

Les modules de réaction du sol ont été déterminés à partir de la formule de Schmitt. On dispose de deux lits de butons aux niveaux 40 NGF et 37 NGF. Les niveaux bas de la paroi varient selon les coupes entre 7,6 m et 9 m par rapport au niveau de la plateforme de travail. Les calculs ont été menés à l'aide du logiciel RIDO 4.10 (Éditeur : Robert Fages Logiciels) (illustration 5). Les vérifications suivantes ont été réalisées : vérification de la fiche mécanique de la paroi par le calcul du rapport des pressions mobilisées sur la butée mobilisable, vérification des profilés métalliques à la flexion et vis-à-vis des efforts tranchants, vérification de

8- Phasage de réalisation d'une colonne DSM.

9- Réalisation d'une colonne de DSM.

10- Vue des butons en place.

11- Butons et liernes.

8- Work sequencing for execution of a DSM column.

9- Execution of a DSM column.

10- View of stays in position.

11- Stays and lierne ribs.

l'effet de voûte de la paroi entre deux profilés métalliques. Les données de sortie suivantes ont été déterminées : effort maximum dans les butons qui s'échelonnent de 30 à 66 tonnes selon les butons et calcul du débit d'exhaure en fond de fouille, résultat théorique de l'ordre de 14 m³/h.

RÉALISATION DES COLONNES SÉCANTES DE DEEP SOIL MIXING

LE MATÉRIEL ET L'ÉQUIPE DE PRODUCTION

Les travaux de réalisation de la paroi ont duré cinq semaines. L'atelier de fabrication de ce type de paroi est particulièrement adapté pour des sites urbains de petite taille. Il est constitué d'une installation compacte faite de

deux silos de stockage du ciment, d'un malaxeur type AKM 1200 D, et d'une pompe d'injection (illustration 6). Un atelier porteur type LRB 125 équipé de l'outil malaxage spécifique pour le Deep Soil Mixing permet d'implanter la paroi à proximité immédiate des constructions existantes (illustration 7). L'équipe de production est constituée d'un chef de chantier, d'un foreur et d'un pied de machine, et d'un centraliste avec son aide. Pour ce chantier, étant donné la présence de terrains assez cohésifs en profondeur, un vibrofonceur type PTC a été utilisé selon les besoins pour assurer la bonne mise en place des profilés métalliques.

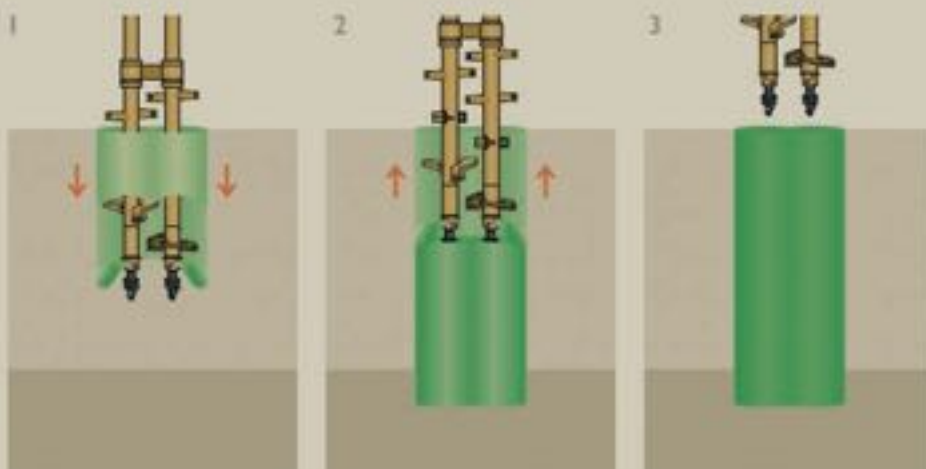
EXÉCUTION DU DEEP SOIL MIXING

Les colonnes ont été réalisées selon un phasage primaire et secondaire afin de permettre un bon remordu entre colonnes sécantes. L'entreprise s'appuie sur son expérience issue du Groupe Keller, spécialiste mondial des fondations, pour déterminer les débits et caractéristiques du coulis d'injection. Le phasage de réalisation d'une colonne de DSM est le suivant : descente de l'outil de Deep Soil Mixing jusqu'à la cote prévue avec une faible injection d'un coulis, puis réalisation de la phase de « mixage » proprement dite qui est constituée d'un certain nombre d'allers et retours de l'outil depuis la cote de base de la colonne jusqu'à la plateforme en maintenant un débit d'injection continu (illustration 8). Le but de cette opération de mixage mécanique en simultanéité avec l'injection est d'homogénéiser le mélange entre le sol et le coulis sur toute l'étendue du volume de la colonne (illustration 9). Le mélange obtenu constitue véritablement un « béton de sol ». Par rapport aux techniques traditionnelles, cette technique présente les avantages suivants : extraction moindre de déblais et consommation plus faible de ciment. Ces deux paramètres sont sensibles d'un point de vue économique et écologique ; le bilan carbone d'un chantier de fondations étant étroitement lié à la quantité de ciment consommée. Pour les colonnes armées, la mise en place du profilé se fait dans le mélange en phase liquide juste après la fin de la phase de mixage.

Sur un chantier de petite taille comme celui-ci, l'opération de lavage est réalisée à l'aide du treuil auxiliaire de l'atelier de forage, afin de ne pas multiplier les engins en place dans cet espace réduit.

PHASAGE DE RÉALISATION D'UNE COLONNE DSM

8





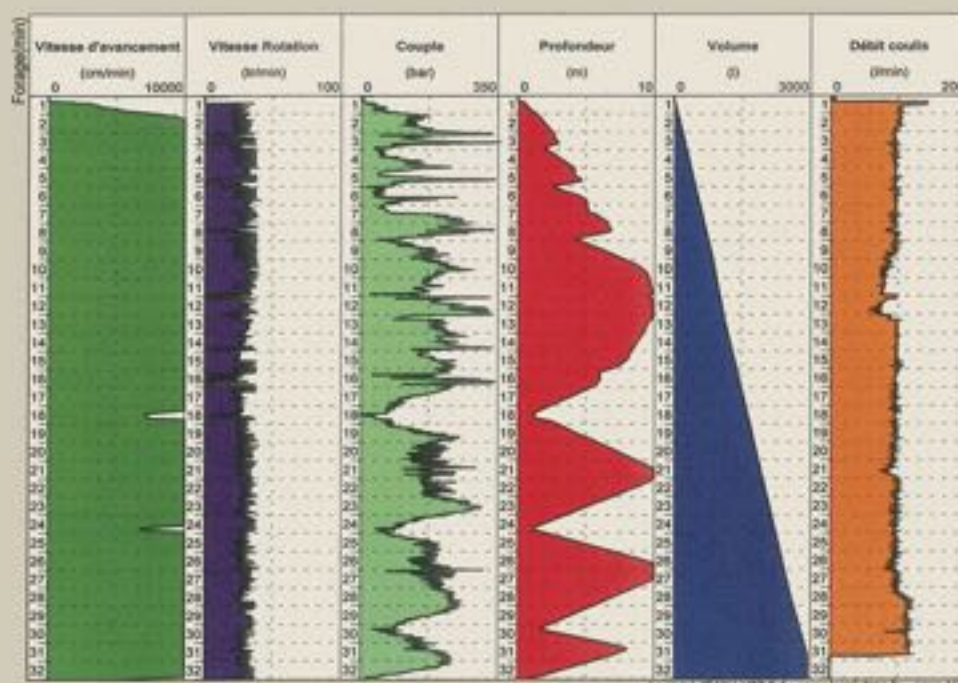
12- État de la paroi après rabotage.

13 & 14- Paroi rabotée, butons et liernes.

15- Spécimen d'enregistrement paramètres.

SPÉCIMEN D'ENREGISTREMENT PARAMÈTRES

15



12- Condition of the wall after planing.

13 & 14- Planed wall, stays and lierne ribs.

15- Parameter recording specimen.

FINITION DE LA PAROI

Une fois toutes les colonnes réalisées, le chantier de terrassement peut commencer, avec mise en place par niveau des liernes métalliques périphériques et des butons de stabilité (illustrations 1, 10 & 11). Au fur et à mesure de cette phase de terrassement, on réalise le rabotage progressif de la paroi du côté

intérieur de la fouille. On obtient un état de surface tout à fait satisfaisant par rapport aux méthodes traditionnelles (illustrations 12, 13 & 14). Après coulage des radiers en fond de fouille, un contre-voile en béton armé traditionnel est coulé contre cette paroi au fur et à mesure de la remontée de l'infrastructure.

CONTRÔLE QUALITÉ

Un plan de contrôle complet a été déployé pendant toute la durée du chantier pour s'assurer de la conformité des travaux par rapport aux objectifs définis. Un dispositif d'enregistrement des paramètres des forages et d'injection a été mis en place spécifiquement pour ce chantier. Ces données ont été

enregistrées pour chaque colonne réalisée (illustration 15). Des essais de conformité du coulis utilisé ont été réalisés de manière bi-hebdomadaire. Des prélèvements dans les colonnes de Deep Soil Mixing sont effectués avec la même fréquence au sein des horizons sableux et au niveau des horizons argileux. Les résultats obtenus sont largement supérieurs aux objectifs définis en phase de dimensionnement : résistance à 28 jours du béton de sol mesurée de 2 à 3,6 MPa dans les couches argileuse et de 5 à 10 MPa dans les couches sableuses. Le débit d'exhaure en fond de fouille est très limité.

L'ensemble de ces résultats prouve l'acuité de ce type de technique innovante, que l'on croit à tort réservée à des opérations exceptionnelles, mais qui peut être tout à fait pertinente même pour des projets de dimension habituelle comme celui-ci. □

ABSTRACT

A RETAINING WALL EXECUTED BY DEEP SOIL MIXING IN THE PARIS REGION

BENOIT PAINEAU, KELLER - CYRIL COPPALLE, KELLER

Deep soil mixing is a soil reinforcement technique which involves mechanically mixing the in-situ soil with a hydraulic binder grout so as to obtain "soil concrete" columns. This technique can have numerous applications, for soil reinforcement and retaining structures. It offers ecological and economic benefits due to less consumption of hydraulic binders and a smaller volume of excavated material than with conventional techniques. Keller Fondations Spéciales applied this technique for a standard wall project in an urban environment. □

UNA PARED DE CONTENCIÓN REALIZADA EN DEEP SOIL MIXING EN LA REGIÓN DE PARÍS

BENOIT PAINEAU, KELLER - CYRIL COPPALLE, KELLER

El Deep Soil Mixing es una técnica de refuerzo del suelo que consiste en mezclar mecánicamente el suelo existente con una lechada de aglutinantes hidráulicos para obtener columnas de "hormigón de suelo". Esta técnica puede tener numerosas aplicaciones, para el refuerzo de suelos o para la contención. Ofrece las ventajas ecológicas y económicas propias del uso de aglutinantes hidráulicos y genera un volumen de escombros más reducido que las técnicas tradicionales. Keller Fondations Spéciales ha aplicado esta técnica en un proyecto actual de pared en medio urbano. □



Fondations Spéciales

info



www.keller-france.com

Keller Fondations Spéciales SAS
Siège Social

2 rue Denis Papin
CS 69224 Duttlenheim
67129 Molsheim Cedex

Tél. : 03 88 59 92 00

Fax : 03 88 59 95 90

e-mail : direction@keller-france.com

www.keller-france.com

Appuyez-vous sur nos points forts

- ◆ Une expertise géotechnique mondialement reconnue
- ◆ Des techniques de fondations profondes et d'amélioration de sols adaptées à vos projets commerciaux, industriels, urbains et d'infrastructures

Amélioration et renforcement de sol :

Colonnes à Module Mixte CMM[®], inclusions rigides type INSER[®], Induction Hydraulique[®], Colonnes ballastées, vibrocompactage, compactage dynamique, Colonnes Ballastées Injectées CBI[®], drains verticaux, colonnes chaux-ciment (Deep Soil Mixing DSM)

Fondations et soutènements :

Pieux, micropieux, parois de soutènement et fouilles urbaines clés en main

Injections :

Injection solide (compaction grouting, CHS), bouchons injectés, Soilfrac[®], jet grouting Soilcrete[®]



RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

MATERIEL DE TERRASSEMENT



Ammann France - ZI Les Petites Haies
31/33, rue de Valenton - 94046 Créteil Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info.af@ammann-group.com
www.ammann-group.com



BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT
N° Vert Indigo
0 825 08 43 81



FRANCE
PLUS DE 650 Machines et
700 Équipements en TP, PL
Levage et Manutention
T : 00 33 10 3 23 04 00 68
F : 00 33 10 3 23 68 53 80
Mail : sodineg@wanadoo.fr
DEPOTS 02 ET 74

■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

BOBCAT EUROPE
J. Huysmanslaan 59 B
1651 Lot - Belgique
Tél. 00 32 2 371 68 11
Fax 00 32 2 371 69 00

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ MINI-PELLE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT

ONE - TP.COM
1 Place du 8 Mai 1945
60119 Neuville Bosc
Tél. 01 30 37 06 26
Fax 01 34 40 01 44

MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Éguillette
BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ CHARGEUSE PELLETEUSE (BACKHOE LOADER)

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION



Coffrages et Etaisements
PERI S.A.S.
Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière
77109 Meaux cedex
Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50
peri.sas@peri.fr
www.peri.fr

MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES



Ammann France - ZI Les Petites Haies
31/33, rue de Valenton - 94046 Créteil Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info.af@ammann-group.com
www.ammann-group.com



2, avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
www.bomag.com



WIRTGEN FRANCE
WIRTGEN
Fraiseuses sur roues et sur chenilles
Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol
Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface
Outils au carbure. Betek/Sitek
VÖGELE
Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs
HAMM
Rouleaux tandem vibrants
Compacteurs à pneus
Compacteurs monocylindre vibrants
KLEEMANN
Installations de concassage mobiles et fixes / cribles
Distributeur exclusif pour la France des épandeurs de liants pulvérulents
STREUMASTER série SW
WIRTGEN FRANCE
BP 31633 - 7, rue Marc Seguin
95696 Goussainville Cedex
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
www.wirtgen.fr

METALLIANCE

ZI de la Saule - BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

RABAUD
Bellevue - 85110 Sainte-Cécile
Tél. : 02 51 48 51 58
Fax 02 51 40 22 97
www.rabaud.com
info@rabaud.com

MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

■ TRAVAUX SOUTERRAINS



AUSCULTATIONS Automatiques
Tél. 01 41 42 06 30
Fax 01 41 42 06 31
www.miretopo.com

■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE



Bureau d'Etude
Bathymétrie - Topographie
Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages
Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27
www.bathys.fr - contact@bathys.fr

CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : RÉGIE PUBLICITÉ INDUSTRIELLE - 9, BD MENDÈS FRANCE - 77600 BUSSY-SAINT-GEORGES - TÉL. : 01 60 94 22 20 - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.

MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE



metso
Concassage, broyage, criblage, manutention
 Matériels et installations fixes et mobiles
 Installations de recyclage
 Transporteurs et accessoires
 Pièces d'usure et de rechange
 Produits anti-usure, blindages, capotages
 Pompes
 (Nordberg-Svedala-Trellex-Lindemann)
 Metso Minerals (France)
 41, rue de la République - 71009 Mâcon Cedex
 Tél. : 03 85 39 62 00 - Fax : 03 85 39 62 48
 www.metso.com

■ POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE

SOTRES

Parc Européen des entreprises
 BP 80072 - Rue Richard Wagner
 63200 RIOM
 Tél. 04 73 15 36 00
 Fax 04 73 15 36 20

■ INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE

GRAVEL

1 Chemin de Villers à Combault
 94420 Le Plessis Trevisé
 Tél. 01 45 94 59 53
 Fax 01 45 94 59 83

MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

■ PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE

LEDUC T.P

1, rue de Folenrue
 27202 VERNON cedex
 Tél. 02 32 51 74 97
 Fax 02 32 51 57 18

MATERIEL DE SONDRAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION



G-OCTOPUS
 www.g-octopus.com
 Tél. : +33 01 47 32 48 30

■ DÉSABLEUR DE BOUES

SOTRES

Parc Européen des entreprises
 BP 80072 - Rue Richard Wagner
 63200 RIOM
 Tél. 04 73 15 36 00
 Fax 04 73 15 36 20

■ SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
 2, av. de l'Eguillette - BP 7181
 Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise Cedex
 Tél. 01 39 09 32 22
 Fax 01 39 09 32 49

■ POMPES À BOUES

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
 2, av. de l'Eguillette - BP 7181
 Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise Cedex
 Tél. 01 39 09 32 22
 Fax 01 39 09 32 49

■ PRESSE D'INJECTION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
 2, av. de l'Eguillette - BP 7181
 Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise Cedex
 Tél. 01 39 09 32 22
 Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS



MARAIIS
 Marais Contracting Services
 1, rue Pierre et Marie Curie
 49430 DURTAL
 Tél : 02 41 96 16 99 - Fax : 02 41 96 16 99
 Email : info@marais.com - Web : www.marais.com

■ TRANCHEUSE

MARAIIS CONTRACTING SERVICES

1, rue Pierre et Marie Curie
 ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20
 49430 DURTAL
 Tél. 02 41 96 16 90
 Fax 02 41 96 16 99

MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS



ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION S.A.S.
 Z.I. du Vert Galant - 2, avenue de l'Eguillette
 S.P. 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise cedex
Atlas Copco
 Tél. : 33 (0) 1 39 09 32 22
 Fax : 33 (0) 1 39 09 32 49
 www.atlascopco.fr



Ducrocq
 Ingénierie Process
 ZA Ecoles 42120 MONTREUILSUR
 Tél : 03 21 99 02 60 - Fax : 03 21 99 02 60
 Email : ducrocq.industrie@wanadoo.fr
 Site Internet : www.ducrocq.ingenierie-process.com

METALLIANCE

ZI de la Saule
 BP 111
 71304 Montceau Cedex
 Tél. 03 85 57 01 34
 Fax 03 85 57 88 73

■ BERLINE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
 95340 Persan
 Tél. 01 39 37 45 45
 Fax 01 39 37 45 44
 www.patry.fr

TECHNICRIBLE

Zone industrielle
 81150 LAGRAVE
 Tél. 05 63 81 41 57
 Fax 05 63 81 41 56

■ LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
 95340 Persan
 Tél. 01 39 37 45 45
 Fax 01 39 37 45 44
 www.patry.fr

■ MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)

METALLIANCE

ZI de la Saule
 BP 111
 71304 Montceau Cedex
 Tél. 03 85 57 01 34
 Fax 03 85 57 88 73

■ ENGIN DE BOULONNAGE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
 2, av. de l'Eguillette
 BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise Cedex
 Tél. 01 39 09 32 22
 Fax 01 39 09 32 49

■ ENGIN DE FORATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
 2, av. de l'Eguillette
 BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
 95056 Cergy-Pontoise Cedex
 Tél. 01 39 09 32 22
 Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE



Lhoist France
 Une société du Groupe Lhoist
 105, Rue de l'Inde - 75004 Paris Cedex 04
 Tél. : +33 (0)1 42 45 20 00 - Fax : +33 (0)1 42 45 80 14
 www.lhoist.com

BUREAU ETUDES



25 agences en France
Rincent BTP
 8 agences à l'International
 www.rincentbtp.fr
 Tél. +33 (1) 60 87 21 25
 direction.technique@rincentbtp.fr



CATHIE ASSOCIATES
 www.cathie-associates.com
 Tél. : +33 1 47 32 48 30

MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

SDMO INDUSTRIE

12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241
 29272 Brest cedex
 Tél. 02 98 41 41 41
 Fax 02 98 41 13 10

MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ : RÉGIE PUBLICITÉ INDUSTRIELLE, 9, BD MENDÈS FRANCE - 77600 BUSSY-SAINT-GEORGES - XAVIER BERTRAND - TÉL. : 01 60 94 22 20

MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ELÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDEUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDEUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDEUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION


- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÉSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE



Aménagement des
ouvrages d'accès à la
Baie du Mont Saint-Michel.

/ Spie fondations

spie batignolles

Votre partenaire dans le sol

Parc Saint-Christophe - Pôle Magellan 2 - 10 avenue de l'Entreprise - 95862 Cergy-Pontoise Cedex, France
Tél. : +33 (0)1 34 24 49 50 - Fax : +33 (0)1 34 24 37 56 - www.spiefondations.com

CONSTRUIRE SUR DU SOLIDE



www.soletanche-bachy.com

→ Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles : elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.



VIROFLAY, TRAMWAY T6 | FRANCE |
Future station souterraine.



SOLETANCHE BACHY