

CHANTIER A L'INTERNATIONAL

Journée Technique du 1^{er} décembre 2016

Renforcement de sol par Jet-Grouting à ARZEW en Algérie

KELLER Fondations Spéciales

Thierry HERMGES
Serge LAMBERT



Introduction

4 réservoirs de la **nouvelle ligne du terminal gazier GNL 3Z à Arzew** ont été fondés sur un radier reposant sur un sol renforcé par des colonnes de jet-grouting:

- une conception innovante dans le pays une première en Algérie,
- Variante à la solution traditionnelle de pieux,
- Opération à forte connotation technique avec d'important moyens de justification et de contrôle,
- Environnement logistique rendu très complexe par la modification profondes des règles d'importation,
- Des problèmes de pénurie de ciment qui ont touché le pays durant la phase exécution.
- Des délais d'exécution courts.

Le projet

Construction du nouveau terminal de liquéfaction de gaz GNL 3Z à Arzew

Maitre d'Ouvrage: Sonatrach

Joint-venture: SAIPEM –
SNAMPROGETTI – CHIYODA

Fondations: Keller Fondations Spéciales, représentée en Algérie par son établissement stable et sa filiale de droit algérien.

Contrôle technique : CTC Est

Investissement: 3 milliards de dollars.



Le projet

Caractéristiques des ouvrages:

- GNL: diamètre 82 m et 35 m de hauteur,
- Surcharges: 200 à 300 kPa

Catégorie d'ouvrage

les ouvrages intégrés à un centre de production et de distribution d'énergie d'importance nationale sont de classe I-A.

Condition sismique:

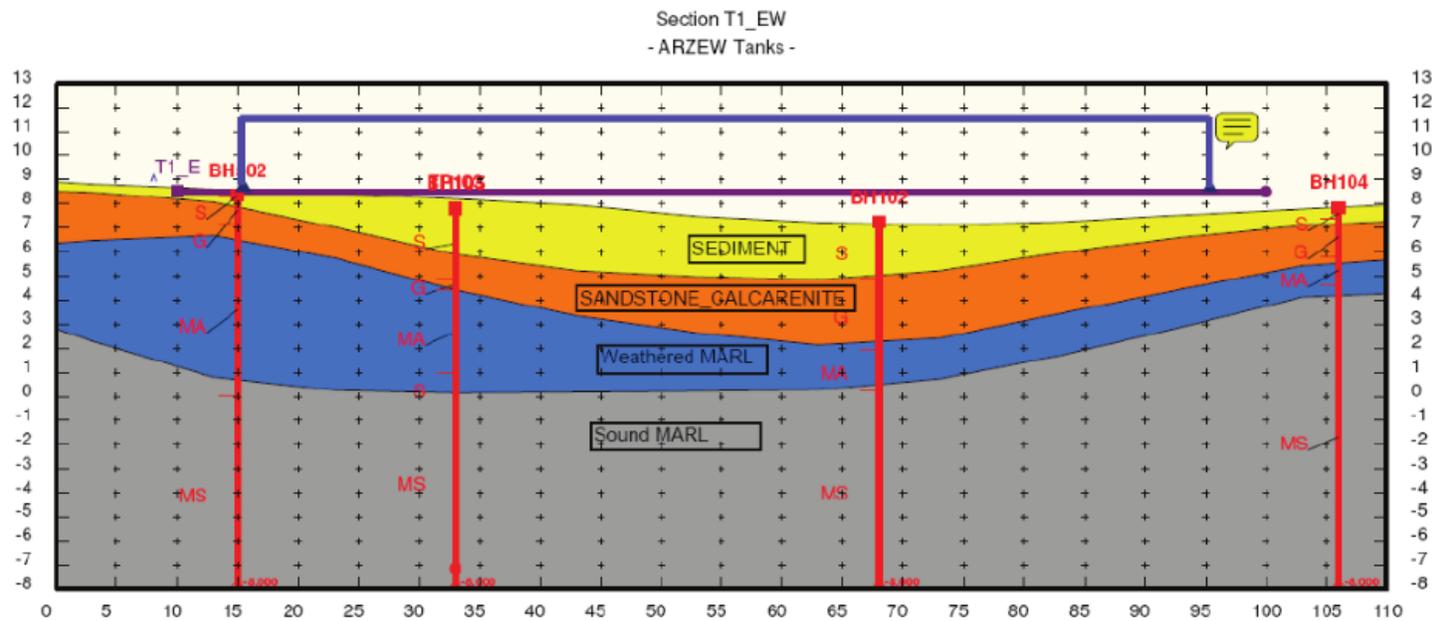
La zone est classée en zone sismique II-a et Ceci conduit à considérer des accélérations nominales maximales de $2,49 \text{ m/s}^2$ et une magnitude de 7.

Objectifs:

Tassements absolus inférieurs à 10 cm et différentiels inférieurs à $1/500^{\text{eme}}$,

Le contexte géotechnique

- Remblai et sable de 4,5 m d'épaisseur,
- Du gré fracturé dur (Calcarénite) jusqu'à 5 à 11 m de profondeur
- Marne altérée sur 2 à 7 m d'épaisseur avant d'atteindre les marnes compactes.



Problèmes à résoudre

Le choix de la solution de fondation des réservoirs a permis de répondre:

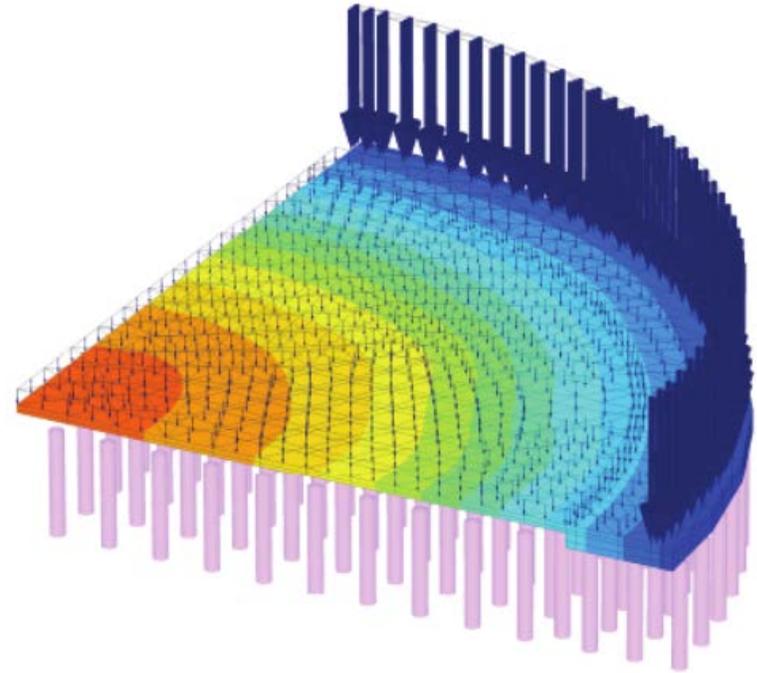
- Aux spécifications strictes des tassements et de portance qu'imposent l'utilisation des réservoirs,
- à un risque sismique important,
- en intégrant un risque de zones décomprimées et de vides karstiques dans les horizons marneux situés sous la formation dure de gré.

Une solution pertinente

Caractéristiques de la solution jet-grouting:

- 12 m de profondeur
- diamètre minimum variant entre 0,8 et 1,3 m suivant la nature des terrains rencontrés,
- un maillage de 3,5 m x 3,5 m
- Un matelas de répartition de 1 m d'épaisseur qui assure un rôle de dissipation d'énergie en cas de séisme.

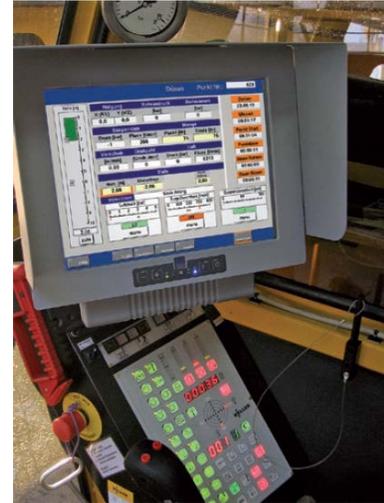
Le procédé Soilcrete[®]-D développé par Keller a été mis en œuvre.



Soilcrete® - D le résultat de 40 ans de recherche

Les particularités du Soilcrete®-D:

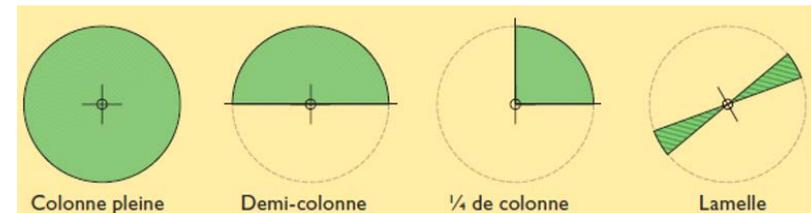
- ✓ Moniteur équipé de buses spécifiques de fabrication Keller pour le découpage des sols compacts comme les marnes,
- ✓ Découpage du sol en continue,
- ✓ Enregistrement de paramètre M5,
- ✓ Différentes formes de colonnes.
- ✓ Foreuse de fabrication Keller,
- ✓ Forage avec un marteau fond de trou hydraulique procédé Keller



M5



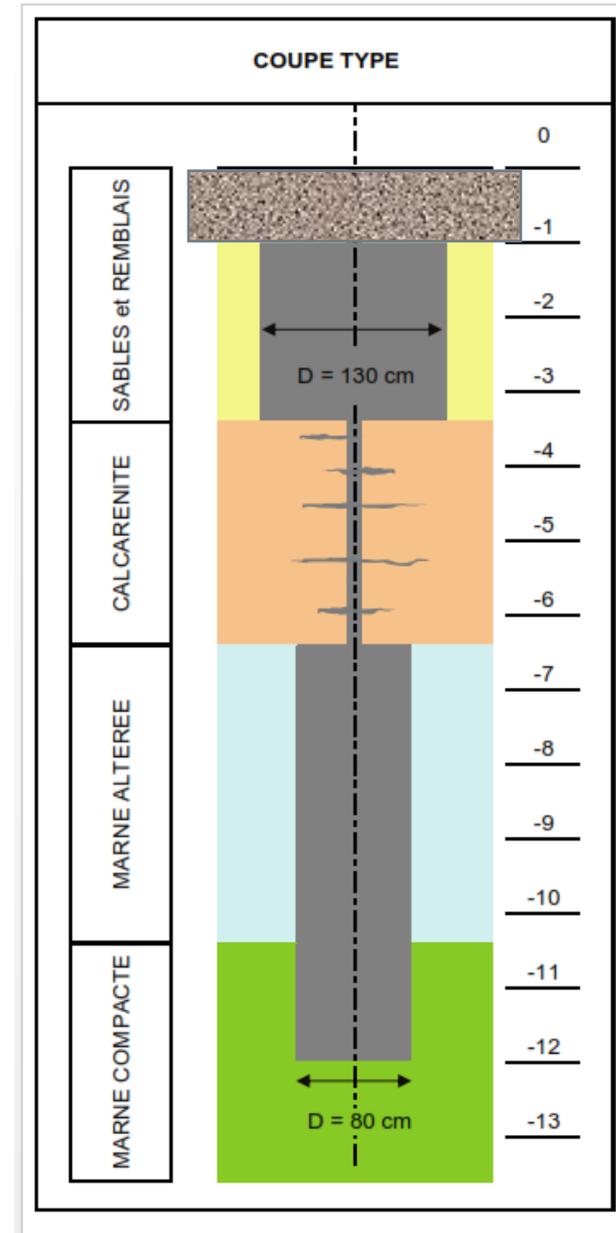
Moniteur



Un phasage d'exécution en 3 temps

Le dispositif de renforcement de sol se décline en trois temps:

- 1) **Forage** avec un marteau fond de trou hydraulique jusqu'à une profondeur de 12 m permettant de traverser l'horizon dur de gré et de réaliser le jet-grouting sans préforage préalable,
- 2) **Jetting**: une fois arrivé au niveau de la base des inclusions, la seconde phase d'exécution est entamée en déstructurant le sol à l'aide d'un puissant jet de coulis enrobé par un flux d'air.
- 3) **Matelas**: La troisième phase travaux consiste à recéper les inclusions et à mettre en œuvre le matelas de répartition.



À contexte d'exécution difficile, préparation méticuleuse

Si l'Algérie est un pays magnifique, y travailler demande une certaine dose d'expérience et de préparation.

Matériel spécifique à importer,

- **4 foreuses EGT de 18 t**
- **3 centrales complètes de fabrication de coulis,**
- **3 pompes HP Techniwell**
- **Un lot de pièces détachés**

Soit 20 containers à envoyer

Une étroite collaboration entre personnel administratif, ingénieurs, mécaniciens et logisticiens.

À contexte d'exécution difficile, préparation méticuleuse

Des ressources humaines spécialisées

Pour ce projet de 6 M€ de travaux de jet-grouting, environ 70 personnes ont été mobilisées:

Opération à forts degrés de spécialisation technique:

- Planification précise,
- Identification des compétences humaines au sein du groupe Keller:
 - 22 expatriés Français, Allemands, anglais, Ecossais,
 - 40 – 50 salariés de Keller Algérie.

La collaboration entre ces différentes nationalités a, au cours des travaux, donné lieu à de véritables échanges technologiques, et le transfert de savoir-faire a bénéficié à tous, notamment aux salariés algériens qui découvraient le jet grouting et se sont fortement investis pour en maîtriser le process.

Planche d'essais

La planche d'essai a démarré début août 2009.

Objectif premier: déterminer les paramètres d'exécution permettant de garantir le respect des diamètres minimums imposés:

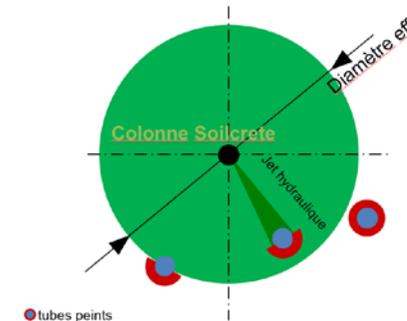
- méthode de perforation,
- nature et composition du fluide de perforation,
- pression et débit du jet,
- vitesse de remontée,
- vitesse de rotation,
- nombre et dimension des buses de jet

Second objectif de la planche d'essai: vérifier une valeur de résistance à la compression supérieure à 5 MPa.

Dégarnissage de colonne



Mesure des diamètres piges



Carottage des colonnes



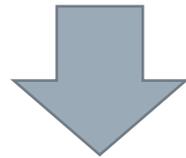
DES TRAVAUX ET DE NOMBREUX ALÉAS

Rupture d'approvisionnement en ciment

25 000 t de ciment avec des cadences de livraison de l'ordre de 250 tonnes / j,

Usines de ciments d'Oran largement sous-dimensionnées pour pourvoir à la totalité de la demande en ciment

+ pannes et entretiens annuels "inopinés" mettant hors-service les cimenteries locales.



- Multiplication du nombre de fournisseurs, allant jusqu'à se servir à 450 km d'Arzew,
- Augmentation de la capacité de stockage en pulvérulent

Ces efforts n'auront pas toujours permis d'éviter les interruptions de chantier.



DES TRAVAUX ET DE NOMBREUX ALÉAS

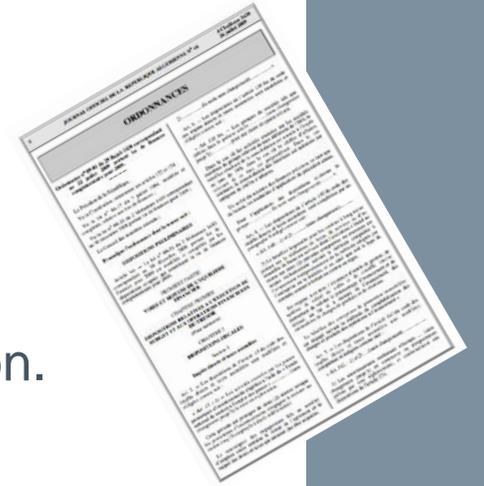
Accroissement imprévisible et très significatif des contraintes d'importation

La loi de finances complémentaire du 26 juillet 2009 est tombée comme un couperet sur l'organisation du support logistique et mécanique de l'opération.

Conséquence sur le chantier:

- Impossible de se procurer rapidement les pièces de rechange nécessaires à la réparation des pannes.
- Mobilisation de cinq containers de matériel de secours complémentaires et de pièces détachées
- Délai long de 8 semaines qui a eu un impact sur le délai global d'exécution de 4 mois prévu initialement.

La mise en place du dossier de crédit documentaire fut une épreuve mais le matériel fut livré sur le chantier,



Quand le mieux peut être l'ennemi du bien...

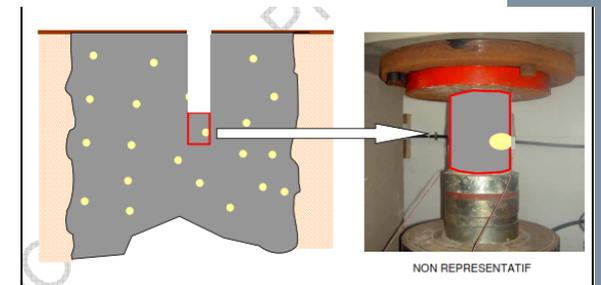
Ecrasement de carottes prélevées dans les colonnes de jet-grouting: Objectif recherché résistance intrinsèque supérieure à 5 MPa

Essais d'écrasement donné à un laboratoire algérien:

- résultats obtenus montraient certaines insuffisances de résistance,
- audit du laboratoire par un expert français: matériel employé pas adapté à ce type de contrôle et aucune sélection préalable des échantillons.

Nouvelle procédure et changement de laboratoire: résultats conformes.

➔ En dépit de cette explication et du fait que la totalité des résultats obtenus par le nouveau laboratoire se soient révélés conformes aux spécifications requises, le contrôleur technique a exigé que soient réalisés de très nombreux essais, calculs et rapports complémentaires, qui ont tous confirmé que le dispositif de fondation était conforme aux compétences requises.



Quand le mieux peut être l'ennemi du bien...

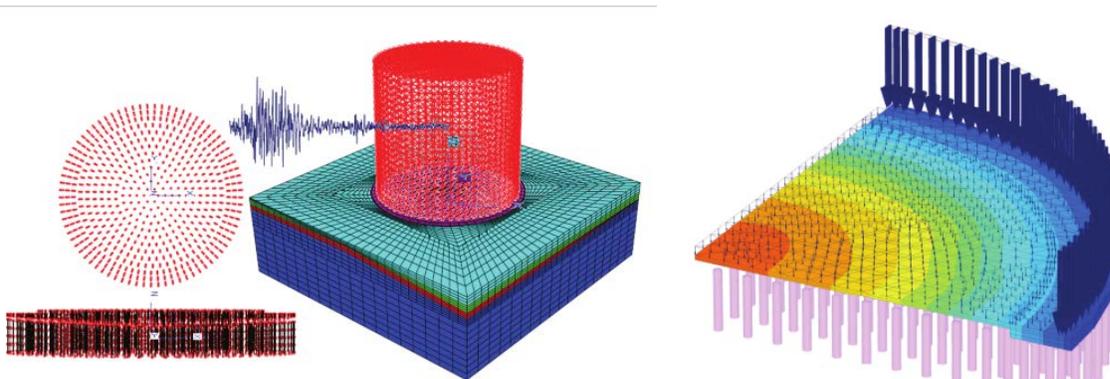
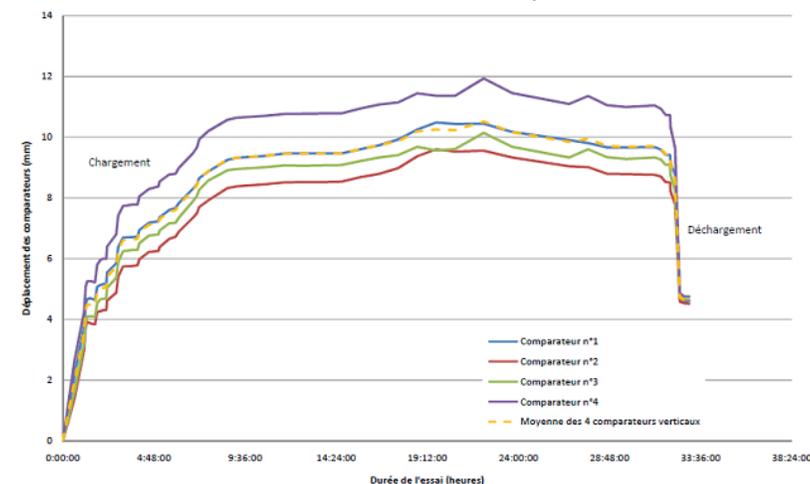
Ainsi:

- le nombre de carottage et d'essais d'écrasement a été multiplié par plus de dix,
- un essai de chargement à 500 tonnes a été réalisé (opération sensible confiée à Michel Bustamante, expert géotechnicien),
- des calculs aux éléments finis (Plaxis 3D et Flac 3D) ont été menés à bien, et une mission d'expertise et de validation a été confiée à Jean-Pierre Magnan, Directeur technique Géotechnique du LCPC.

Essai de chargement de 500 t



Tassement en fonction du temps



HYGIÈNE ET SÉCURITE – LE NIVEAU D'EXCELLENCE DU DOMAINE "OIL AND GAS"

Niveau d'exigence des pétroliers élevé en terme d'hygiène et sécurité

- Formations renforcées du personnel
- Examen de conformité du matériel
- Présence d'une ambulance accompagnée d'un infirmier

Fort heureusement, l'opération s'est déroulée sans qu'aucune blessure n'ait été à déplorer et l'objectif "zéro accident" a été atteint !

Le chantier en quelques chiffres

2 910 inclusions de Soilcrete®-D

19 200 ml de colonnes de jet grouting Soilcrete®-D

25 000 tonnes de ciment

380 ml de carottage

154 essais d'écrasement dont 24 pour mesure de module de Young

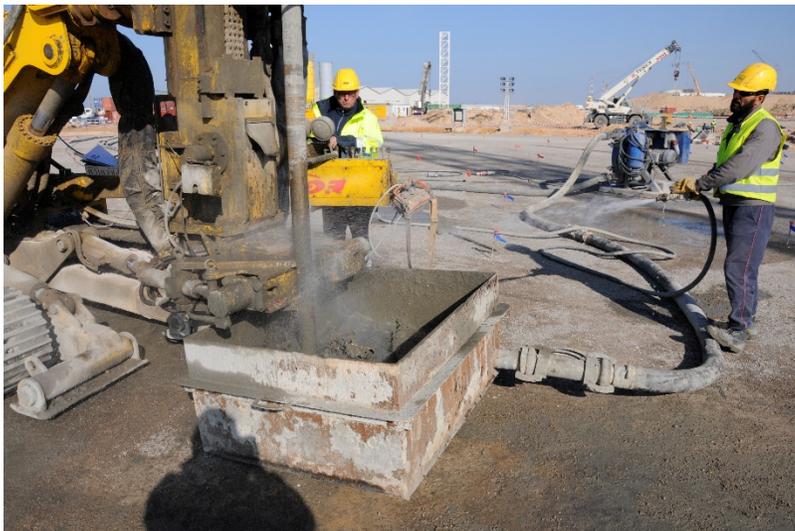
450 mesures de densité et d'écrasement sur prélèvements de spoil

3 000 fiches d'enregistrements de paramètres

1 essai de chargement à 500 tonnes

Durée des travaux: 4 mois.

Quelques photos du chantier



Quelques photos du chantier



Quelques photos du chantier



Conclusions

La forte collaboration qui a toujours existé entre les intervenants de ce projet a permis de surmonter au mieux les différentes difficultés rencontrées.

L'opération, qui constituait une première en Algérie, a ouvert de nouvelles perspectives au développement du Jet-Grouting dans ce pays.

Le transfert de technologie qui s'est opéré lors de l'opération a permis au personnel algérien de réaliser avec une forte autonomie un soutènement en jet grouting sur un autre site algérien.



Merci pour votre attention !

21 SEPT 2016

CFMS