PRIX DE L’INNOVATION SOLSCOPE

FILTRE-PRESSE Keller

Traitement des spoils de jet grouting

SOMMAIRE

1. Introduction 3

2. Les méthodes actuelles de gestion des spoils de jet grouting 3

3. Descriptif du Filtre-presse 4

4. Un procédé écologique : Le Filtre-presse 7

5. Validation du procédé sur un chantier 8

6. Conclusion 9

1. Introduction

La technique du jet grouting consiste à éroder le sol en profondeur, grâce à l'injection d'un coulis de ciment sous forme d'un jet rotatif haute pression (>400bars) , permettant de réaliser des colonnes de grand diamètre constituées du mélange sol/ciment. L'injection de grande quantité de ciment pour constituer une colonne de jet grouting, génère, selon la nature du sol et le diamètre des colonnes, des remontées importantes de spoils*.

**Spoils : rejets de forage constitués d'un mélange sol-ciment ou sol-eau qui remontent jusqu'à la surface, le long du train de tige, lors de l'exécution du jet grouting.*

De par la technique, ces spoils générés en grandes quantités, sont souvent liquides ou pâteux suivant la nature des terrains traités.

Une des difficultés majeures est donc de recueillir ces matériaux liquides ou pâteux et de les stocker sur le chantier dans un premier temps, avant de procéder à leur évacuation en décharge ou centre de traitement.

Bien entendu, les chantiers de jet grouting étant souvent réalisés dans des espaces très restreints ou en sites urbains ou industrielles, le manque de place sur le chantier complique considérablement le stockage des spoils.

Enfin, l'évacuation de quantités importantes de matières liquides nécessite des transports particuliers, des exutoires permettant de recevoir et stocker les rejets selon des conditions environnementales de plus en plus strictes.

Toutes ces contraintes liés aux spoils ont donc un impact financier non négligeables voire très important dans le coût global d'un chantier de jet grouting.

Pour répondre à cette problématique environnementale et financière, Keller a développé une méthode de travail innovante qui utilise une installation de Filtre-presse pour traiter les spoils de jet grouting.

2. Les méthodes actuelles de gestion des spoils de jet grouting

Il existe différentes façon de gérer les spoils : :

- **Pompage en direct avec camion -aspirateur (suceuse BTP) :** Cette méthode consiste à mettre en place une rotation continue de camions-aspirateurs pour prélever directement les rejets liquides qui remontent à la surface lors de prédécoupage ou du jetting des terrains en place.

  Avantages :
  - ✓ C'est souvent la seule solution possible, si les espaces restreints ne permettent pas de stocker les rejets liquides.

  Inconvénients :
  - ✓ Pompage intégral de tout le volume liquide qui remonte, y compris terrain chargé en eau lors du prédécoupage, ce qui revient à évacuer des quantités très importantes de matières liquides
  - ✓ Hygrométrie du matériau non compatible pour une mise en décharge classique.
  - ✓ Nécessité de traitement en centre spécialisé

- **Confection de fosses de décantation sur chantier :** Ce procédé consiste à réaliser un terrassement pour confectionner plusieurs fosses de décantation des spoils. C'est la solution classique mise en place sur les chantiers de jet grouting lorsque la place suffisante est disponible.

  Avantages :
  - ✓ Solution économique et rapide à mettre en place.

- ✓ Permet une infiltration de l'eau dans le sol, donc réduction du volume et facilité d'évacuation de matériaux moins humides. (pelletables avec un engin)

Inconvénients :

- ✓ Solution non réalisable en site urbain ou si chantier en site fermé et restreint.
- ✓ Non réalisables en présence de réseaux (DICT à faire).
- ✓ Nécessité d'un engin en permanence pour curer les fosses et charger les déblais sur camions.
- ✓ Nécessité de réaliser plusieurs fosses pour permettre la décantation et le phasage des travaux.
- ✓ Procédé non réalisable dans les zones avec contraintes environnementale (zéro rejets et infiltrations, pollution).

- **Pose de bennes étanches :** Ce système est utilisé dans le cas où il y a impossibilité de creuser des fosses de décantation ou que les restrictions environnementales ne le permettent pas.

  Avantages :
  - Ne génère pas de contraintes environnementale sur le site.

  Inconvénients :
  - Très couteux, car nécessite beaucoup de bennes pour le stockage
  - Infiltration impossible, donc pompage de l'eau nécessaire après décantation et avant transport hors du chantier
  - Parfois problème d'étanchéité des bennes et salissures des routes lors des évacuations.

Figure 1 : dégarnissage d'une colonne de jet grouting

3. Descriptif du Filtre-presse

Le filtre presse est composé des éléments suivants :

- Le bacs de stockage provisoires des spoils liquides (rejets du jet-grouting)
- Local compotant une pompe de gavage,
- Unité de traitement composé de 38 filtres et d'un vérin hydraulique
- un automate qui gère le cycle de traitement

Figure 2 : Plan du filtre-presse Keller

Le procédé de traitement consiste à :

- un traitement préalable des spoils par passage dans un dessableur (élément évacués > 1 mm)
- Après dessablage stockage du spoil dans des containers étanches avec agitateurs
- pompage sous pression (jusqu'à 8 bars) du spoil liquide dans les 38 filtres. Ces derniers sont maintenus en position fermée par un vérin hydraulique. Ce vérin hydraulique permet de manipuler les filtres comme un accordéon soit en position fermée pour la filtration des spoils liquides soit en position ouverte pour libérer les éléments solides filtrés

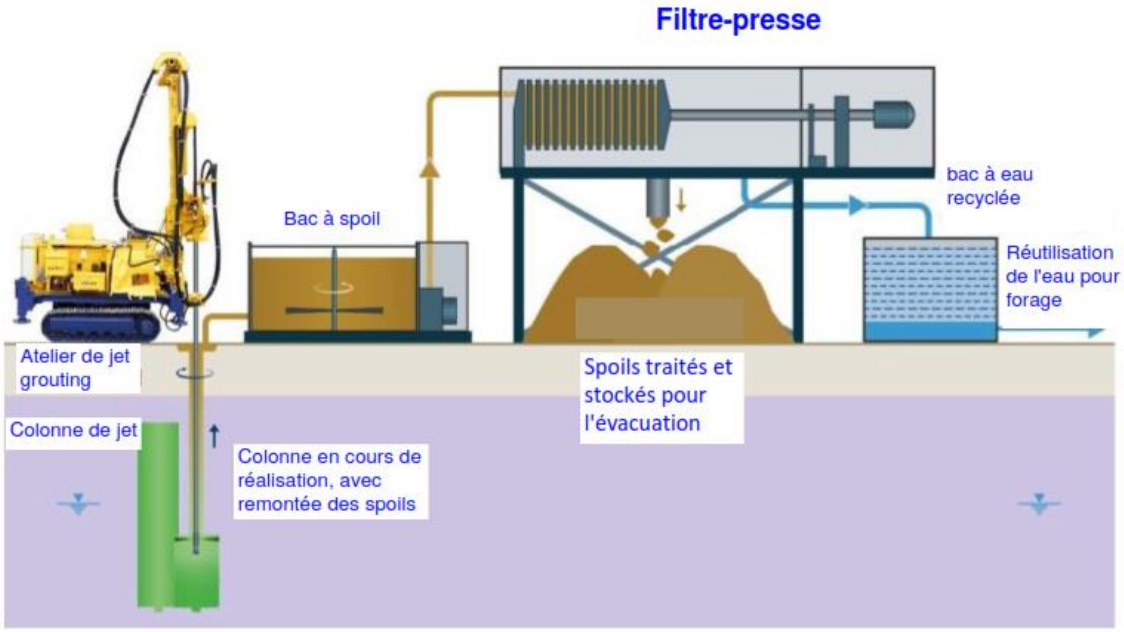


Figure 3 : Principe de traitement par Filtre-presse

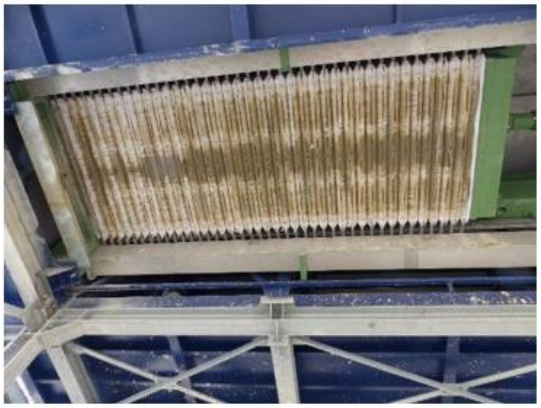


Figure 4 : Vérin en position fermée qui comprime les filtres entre eux.

- durant la filtration sous pression, l’eau claire est séparée des éléments fins et évacuée dans une gouttière par l’intermédiaire de canules de décharge situées de part et d’autre de chacun des 38 filtres.

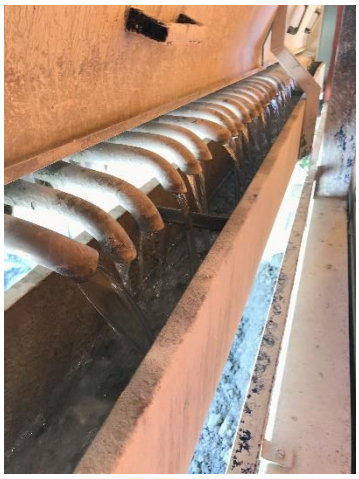


Figure 5 : la récupération de l’eau du filtre-presse

- Le cycle de traitement est géré par un automate relié à une sonde qui indique l’essorage final des spoils par la mesure de la quantité d’eau évacuée. Selon la teneur en eau des spoils, la durée du cycle de filtration varie entre 7 et 30 min. Pour un cycle de traitement de 10 m3 de spoil,
- Chaque cycle de traitement permet d’obtenir finalement environ 3 m3 de matériaux solides pour un volume de spoil initial de 10 m3 (figure). La densité sèche des résidu secs (cake) est de l’ordre de 1,75.

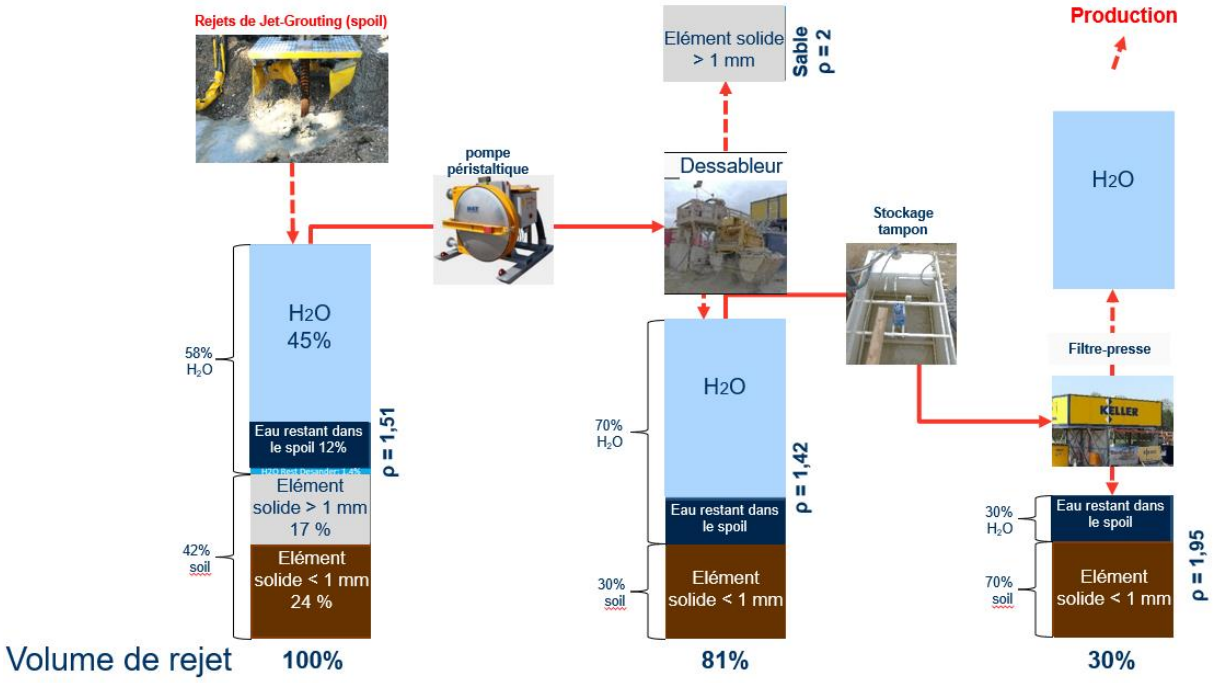


Figure 6 : la récupération de l'eau du filtre-presse

Figure 7: Le matériau traité en sorti de filtre-presse

Quelques chiffres :

- Volume de spoil traité : 30 à 45 m3/h
- Volume cake : 10 à 15 m3/h

4. Un procédé écologique : Le Filtre-presse

Le filtre-presse contribue fortement à réduire l'impact environnemental pour les chantiers de manière générale et particulièrement en zone urbaine. Il est possible de lister les points suivants :

- Diminution volume des rejets sur chantier,
- Réduction des espaces de stockage. Emprise du matériel moins important que pour des bacs, de décantation de bacs à spoil,
- Pas d'infiltration par décantation dans l'environnement,
- Diminution des rejets en décharge,

- Réduction des rotations de camions pour l'évacuation,
- Recyclage de l'eau pour le forage et lavage,
- Possibilité de recycler des matériaux dessablés et des cakes,
- Economie d'engins de terrassement : chargement direct sur camion sous le filtre-presse,
- Adapté en site urbain avec peu de nuisances sonores lors des cycles.

5. Validation du procédé sur un chantier

Dans le cadre des travaux du Grand Paris EXPRESS et de la réalisation de la nouvelle ligne 17,entre St-Denis et Gonesse, le groupement AVENIR (Demathieu Bard, Implénia, Pizzarotti et Bam) a confié à KELLER Fondations Spéciales, les travaux de traitement dans la masse des terrains en place par Jet Grouting pour 6 ouvrages : OA3406, OA3407, OA3500, OA3503,0A3504 et OA3505.

Contexte géotechnique :

Les différentes investigations géotechniques menées sur le projet ont mis en évidence la présence de remblais sur les deux à trois premiers mètres, puis un complexe marno-sableux compact jusqu'à 8 m de profondeur puis la formation des calcaires de Saint-Ouen jusqu'à 16 m de profondeur. S'en suit ensuite la formation des Sables de Beauchamp jusqu'à 26 m de profondeur, constituée d'alternance de fragments calcaires très rocheux (parfois poreux) et des niveaux sableux très compacts, gréseux et peu argileux. A partir de 26m de profondeur on retrouve les formations de marnes et caillasses.

Le traitement par Jet Grouting se fera essentiellement dans les Sables de Beauchamps (réputés non injectables par méthodes classiques) avec des interfaces ponctuelles dans les marnes de Saint Ouen ou dans les marnes et caillasses en profondeur.

Objectif du traitement :

Les travaux de Jet Grouting ont pour objectif de réduire la perméabilité des terrains afin de permettre le creusement des rameaux entre chaque puits et le tunnel du métro.

Le Jet Grouting est un procédé maîtrisé par KELLER depuis plus de 40 ans, qui consiste à déstructurer le sol en profondeur à l'aide d'un jet rotatif à haute pression (> 400bars) et d'injecter un coulis de ciment sous haute pression pour obtenir des colonnes rigides constituées d'un mélange sol/ciment appelé communément « béton de sol ». Selon la taille des ouvrages, le bloc de Jet grouting à réaliser sous forme de colonnes sécantes, est constitué de colonnes primaires de diamètre 1,80m et de colonnes secondaires de diamètre 1,60m, avec des profondeurs de forage jusqu'à 26,00m et des longueur de colonnes jusqu'à 13,50m.

Sur certains ouvrages, comme l'OA3500, la présence de réseaux souterrains en service, a nécessité la réalisation de nombreuses colonnes inclinées, pour échapper à l'emprise des réseaux et garantir un bloc de Jet continu sur toute sa longueur.

Sur cette opération, KELLER a souhaité se démarquer en proposant une solution innovante sur le plan environnemental, pour le traitement des spoils de Jet Grouting.

En effet, la réalisation des colonnes de Jet Grouting à pour conséquences de générer un reflux important de matériaux liquides ou pâteux, inerrant à la technique, et qui sont stockés dans des bacs pour décantation et évacuation à la décharge.

Le travail en site urbain, avec des contraintes environnementales strictes et peu de place disponible sur chaque ouvrage, a incité KELLER à mettre en place un filtre-presse de 20 tonnes, capable de traiter en continu les spoils liquides produit par le Jet Grouting. L'avantage de ce système a été de réduire de 2/3 les quantités d'eau contenues dans les spoils et d'obtenir un produit quasi sec (<20% d'eau) prêt à être évacué le jour même ou stocké en tas sur un espace restreint. 10 m3 de spoils liquides traités par cycle, ont été transformés en 3m^3 de matériaux secs à évacuer et en 7m^3 d'eau à réutiliser pour le forage des colonnes et le lavage du matériel en fin de poste.

Grâce à cette innovation, environ 2/3 de l'eau consommée est réutilisée une seconde fois et plus de 50 %

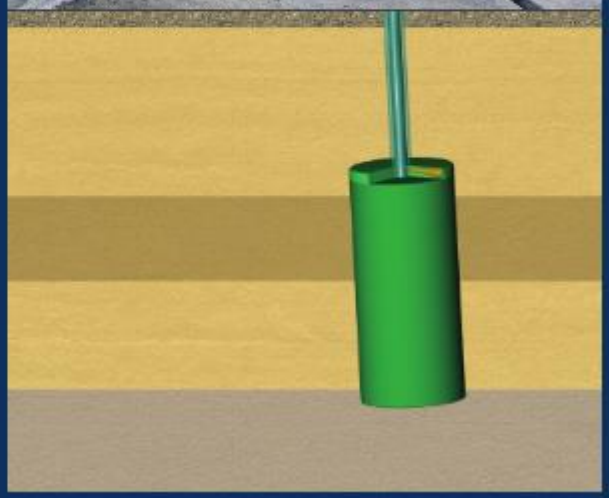
des transports de déblais vers les décharges sont ainsi économisés. Donc il en résulte une réduction de l'ordre de 30% de volume en moins mis en décharge grâce au traitement préalable des spoils par la technique du filtre-presse KELLER.

6. Conclusion

L'injection de grande quantité de ciment pour constituer une colonne de jet grouting, génère, selon la nature du sol et le diamètre des colonnes, des remontées importantes de rejet (spoils). Pour répondre à cette problématique environnementale et financière, Keller a développé une méthode de travail innovante qui utilise une installation de Filtre-presse pour traiter les spoils de jet grouting. L'avantage de ce système est de réduire les volumes de rejets à évacuer en séparant la fraction liquide de la fraction solide. L'eau extraite peut ainsi être réutilisée à nouveau pour le jet-grouting. Le filtre-presse est une solution qui permet d'associer l'économie du projet à une réduction de l'impact environnemental.

ANNEXE

Le procédé de jet grouting Soilcrete®

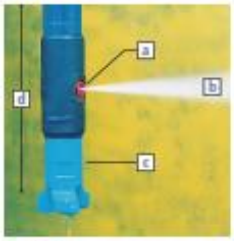


Le principe du jet grouting est de créer un béton de sol par l'érosion du matériau en place par un coulis de ciment injecté à très haute pression, de l'ordre de 300 à 500 bars, qui se mélange avec le sol érodé pour former une colonne.

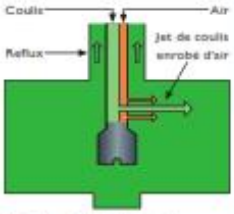
Brochure 67-02F

Le jet grouting

Outil de jet grouting



a – Buse
b – Jet haute pression
c – Taillant
d – Moniteur

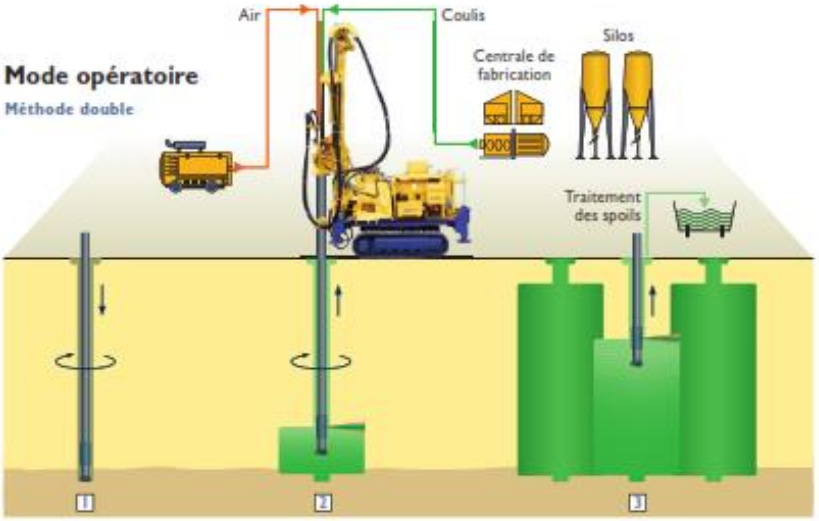


C'est le «jet double haute énergie» ou Soilcrete® D

Foreuses adaptées aux différentes contraintes des sites

Mode opératoire

Méthode double



Les étapes sont les suivantes :

1 Forage
Le forage, à l'eau ou au coulis, est exécuté par un taillant spécifique en bout de moniteur.
Un carottage ou un préforage peuvent être nécessaires pour traverser les maçonneries ou le béton.

2 Jetting : réalisation de la colonne
Découpage hydraulique d'un volume de sol selon un diamètre, une forme et une longueur choisis : la colonne de béton de sol est créée en érodant le sol par un coulis de ciment. Cette action se fait par une remontée régulière et oscillation du train de tiges, associée à des pompes haute pression (300 à 500 bars) et à un débit très important (200 à 350 l/mn).
Évacuation continue et contrôlée des rejets de découpage (spoils).
Un prédécoupage peut être réalisé si nécessaire dans les terrains raides ou cohésifs, pour assurer les diamètres et résistances recherchés pour les colonnes.

3 Phasage et réalisation de la forme géométrique recherchée
Les colonnes sont réalisées suivant un phasage adapté au chantier, et suivant les formes recherchées : lamelles, demi-colonnes, colonnes pleines…

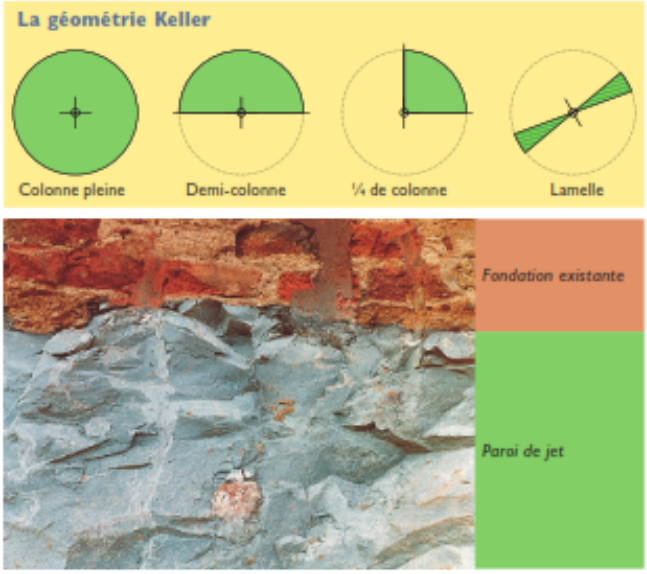
La technologie Keller

Nos 30 années d'expérience à travers le monde et le développement interne de nos outils de production ont permis de sécuriser et d'industrialiser cette technique de fondations spéciales :

- Notre matériel, fabriqué dans nos usines, s'adapte aux différentes contraintes des chantiers : hauteur, forme variée des colonnes, accessibilité...
- Les différentes recherches sur les paramètres de forage et du jetting ont permis de mettre en lumière l'importance d'une combinaison entre un débit et une pression élevés, afin de garantir :
  - le diamètre des colonnes (variant entre 0,80 et 3,50 m)
  - le non-soulèvement des ouvrages
  - les caractéristiques intrinsèques du béton de sol (f_{C28} compris entre 3 et 10 MPa)
- De plus, une remontée régulière de l'outil, associée à la rotation, permet de constituer une colonne suivant un processus hélicoïdal garantissant une meilleure homogénéité du béton de sol.
- Cette technique est régulièrement associée à d'autres procédés de fondations spéciales (palplanches, parois, bouchons injectés), afin de répondre au mieux aux contraintes du projet.

Simple, double ou triple ?

Le « jet simple » s'effectue avec un jet de coulis découpant et se mélangeant avec le sol simultanément, pour de petites colonnes. En « jet double », le jet de coulis est enrobé d'un flux d'air. Cette technique, associée à un coulis de débit élevé, assure l'obtention de colonnes de gros diamètre. Le « jet double » est plus sécuritaire vis-à-vis des structures du fait de la meilleure remontée des spoils (phénomène d'air-lift dû au flux d'air).
En « jet triple », le sol est découpé par un jet d'eau enrobé d'air et le coulis de ciment est injecté par une autre buse pour se mélanger au terrain déjà érodé.
Enfin, Keller développe des techniques dites de «super-jet», technique spécifique permettant d'obtenir des diamètres encore plus conséquents pouvant atteindre 3,50 m.



Contrôle du jet grouting

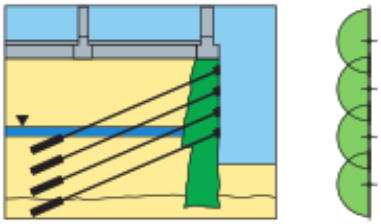
Keller a mis au point différentes procédures de contrôle permettant de garantir les performances recherchées en termes de qualité, sécurité et dimensionnement : enregistrements des paramètres, caractérisation des spoils et coulis, contrôle des déplacements, mesure des diamètres …

Les principaux avantages du jet grouting

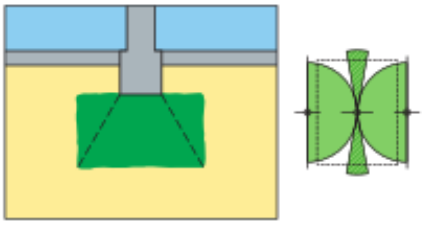
- Intervention contre, dans et sous les existants
- Flexibilité des formes géométriques
- Reprise des charges et étanchéité
- Compatibilité avec tout type de fondations
- Gain de place dans les fouilles en mettant les parois sous les avoisinants

Exemples d'applications

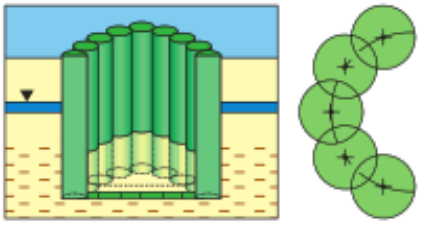
Reprise en sous-œuvre



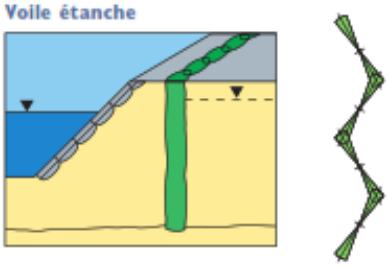
Modifications de fondations



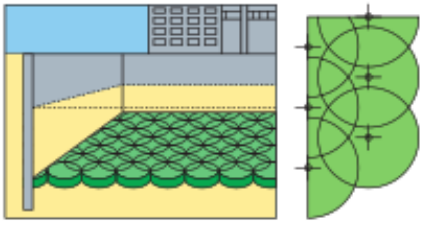
Création de puits



Voile étanche

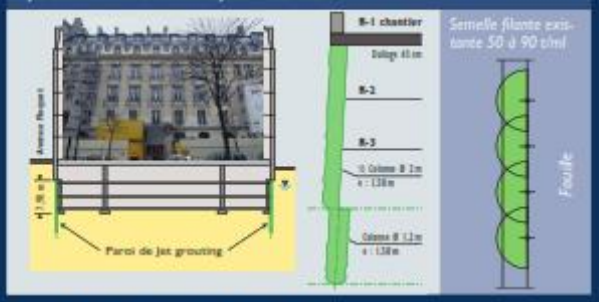


Bouchon étanche



Chantiers récents

3, Avenue Gréard, Paris 7e



Création de deux niveaux sous la nappe :

- Reprise en sous-œuvre des murs périphériques du bâtiment par demi-colonnes sécantes de 2 m de diamètre, charges allant jusqu'à 90 t/ml
- Étanchéité et reprise de la pression hydrostatique de l'ordre de 5 m : débit résiduel 11 m³/h pour 2.000 m²
- Reprise de la poussée des terres

Immeuble Le Molière, Lyon (69)

Création de deux niveaux enterrés dont un sous la nappe :

- Reprise en sous-œuvre d'immeubles R+5
- Soutènement étanche des rues adjacentes (2 m de hauteur d'eau)
- Création d'un bouchon injecté, débit résiduel sur l'ensemble de la fouille (1.300 m²) inférieur à 10 m³/h

Fosses aux usines Peugeot à Mulhouse

Création d'une fosse dans l'usine pour mise en place d'une passe :

- Mur poids autostable d'épaisseur 2 à 4 m
- Soutènement sur 8 m

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

Agence de Strasbourg
Tél. 03 90 29 77 77
e-mail : strasbourg@keller-france.com

Agence de Metz
Tél. 03 87 51 30 31
e-mail : metz@keller-france.com

Agence de Lille
Tél. 03 20 17 72 33
e-mail : lille@keller-france.com

Agence de Paris
Tél. 01 41 73 33 33
e-mail : paris@keller-france.com

Agence de Marseille
Tél. 04 42 24 40 41
e-mail : aix@keller-france.com

Agence de Bordeaux
Tél. 05 56 12 47 90
e-mail : bordeaux@keller-france.com

Agence de Lyon
Tél. 04 72 37 94 20
e-mail : lyon@keller-france.com

Agence de Rouen
Tél. 02 35 52 82 60
e-mail : rouen@keller-france.com

Agence de Toulouse
Tél. 05 61 14 11 72
e-mail : toulouse@keller-france.com

Présent également aux Antilles, en Algérie, au Maroc et en Tunisie

Division Export
Tél. 03 88 59 92 12
e-mail : export@keller-france.com

Suisse

Keller-MTS SA
Avenue de la Gare 58 · Case postale 663
1920 Martigny
Tél. +41 27 722 65 85 · Fax +41 27 722 37 90
e-mail : info@keller-mts.ch

www.keller-mts.ch

KELLER

Une société de Keller Group plc