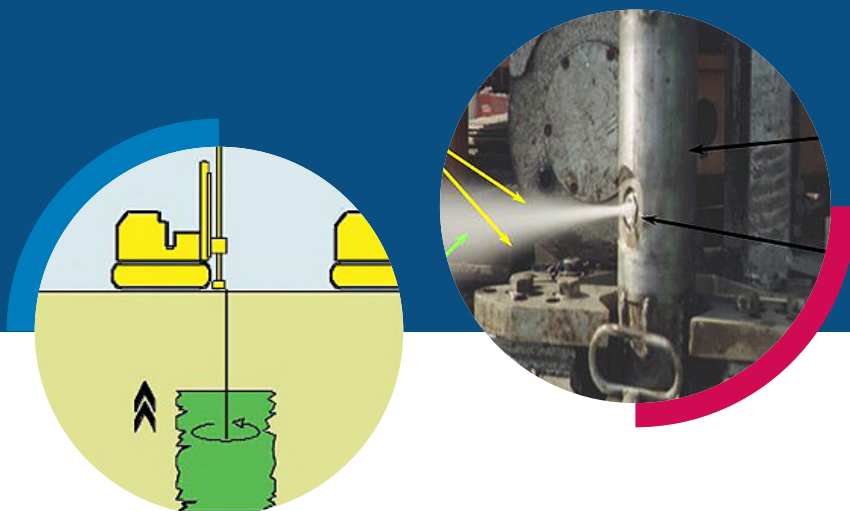


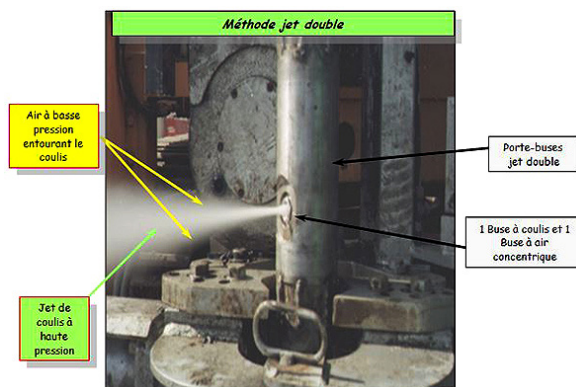
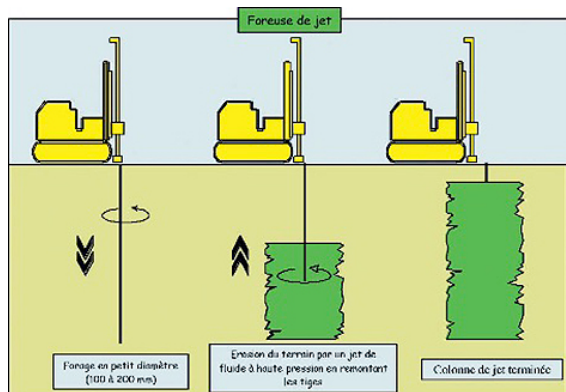
Réparation et confortement de fondation

Le jet grouting



Présentation

Le jet grouting est un procédé de traitement des sols par injection à fortes vitesses et pression de fluides et coulis. Effectué de manière continue ou discontinue, il permet la réalisation de colonnes, demi-colonnes, lamelles ou parois. Il est applicable à tous les terrains meubles, hormis les sols très organiques.



Le traitement par jet grouting conduit à réaliser des éléments rigides d'un mélange de sol ciment, dont la mise en œuvre fait appel à trois phénomènes distincts intervenant indépendamment ou en combinaison :

- une déstructuration des terrains en place sous un jet à très grande vitesse ;
- une extraction d'une partie des éléments constitutifs du sol en place, additionnée de coulis (rejets de découpage ou spoil) ;
- une incorporation de matériaux d'apport sous la forme d'un jet de coulis de composition adaptée à la résistance recherchée.

Le jet grouting conduit à un renforcement du sol et c'est l'obtention de caractéristiques géométriques et mécaniques qui est recherchée. Le sol hors colonne ne subit pas ou peu d'amélioration. Cette méthode d'injection se distingue donc fondamentalement des injections classiques ou de claquage. Dans le domaine des fondations ou soutènements, le jet conduit donc à de véritables éléments porteurs ou de soutiens assimilables à leurs équivalents traditionnels.

Le jet grouting peut également remplir des fonctions d'étanchéité.

Recommandations

Modes opératoires

La réalisation de cette technique débute par un forage de diamètre compris entre 100 et 200 mm. Le train de tiges est doté d'une tête de perforation classique (tricône par exemple) et d'un dispositif de lancement. Par cette colonne de lancement (de 70 à 100 mm de diamètre) on met en vitesse un jet de coulis envoyé par une pompe à haute pression (plusieurs dizaines de MPa) à travers une ou plusieurs buses de petit diamètre (2 à 6 mm) placées en pied. Ensuite les tiges sont remontées lentement avec mise en rotation, pour former la colonne de béton de sol sur toute la hauteur du traitement.

Pendant la phase « jet », les volumes en excès du mélange sol ciment, appelés rejets ou spoil, doivent ressortir librement en tête de forage et être évacués. Théoriquement ce volume est équivalent au volume de coulis injecté sauf en présence de terrains très ouverts qui peuvent absorber une partie du spoil. Sans cette remontée, l'excès de matériau risque de claquer le terrain et de créer des désordres au voisinage.

Réalisation d'une colonne de jet

Plusieurs méthodes sont possibles :

● Le jet simple

Dans ce cas, les trois phases, déstructuration, extraction et incorporation, sont assurées par le jet d'un seul fluide, le coulis de ciment. Cette technique est plutôt utilisée dans les terrains peu compacts, de faible cohésion, dans lesquels il n'est pas recherché un rayon d'action important.

L'outillage se réduit à un train de tiges simple à un seul niveau de sortie équipé d'une ou deux buses simples ; cette ligne d'outil est utilisée comme train de tiges de forage.

● Le jet double

Elle améliore la précédente, un jet d'air étant ajouté en protection du jet de coulis, ce qui permet d'augmenter considérablement le rayon d'action du jet. Le rôle de l'air est d'améliorer les possibilités d'extraction du terrain en place par le phénomène d'air-lift.

Recommandations

● Le jet triple

Dans ce procédé, un jet d'eau à très haute énergie (40 à 50 MPa), est utilisé pour la déstructuration du terrain en place. L'eau, en s'échappant par le forage ouvert, entraîne avec elle une fraction des éléments constitutifs du terrain. Un jet d'air, injecté sous 0,5 à 0,7 MPa, enveloppe le jet d'eau, augmentant notablement l'effet de déstructuration de ce dernier. Le jet d'air permet non seulement d'augmenter le rayon d'action de l'eau, mais, par l'émulsion qu'il provoque, il facilite aussi l'extraction d'une partie des éléments du terrain.

Enfin, le jet de coulis, envoyé séparément sous une pression de 3 à 5 MPa, permet l'incorporation du matériau d'apport dans la masse de terrain remanié par l'action combinée des jets d'eau et d'air ci-dessus.

Cette méthode demande des pompes d'injection distinctes et une ligne d'outils à triple buse permettant l'amenée des trois fluides.

Le mode opératoire, calé grâce à des essais réalisés sur site, doit définir le maillage et le phasage de la réalisation des colonnes, il doit également préciser le nombre d'événements et leurs positions.

Un suivi topométrique intégrant des seuils d'alarme permettra de maîtriser le risque de soulèvement.

➔ Réglage de la géométrie de la colonne

La forme finale de la colonne dépend de :

- la nature et des caractéristiques mécaniques du sol,
- la vitesse de remontée et de rotation du train de tiges,
- la pression et du débit des différents fluides,
- la méthode de réalisation (simple, double ou triple jet).

Le diamètre de la colonne peut atteindre 1 m en jet simple et 2 à 3 m en jet double et triple.

Les terrains sableux et graveleux donnent de meilleurs résultats que les terrains argileux.

La résistance à la compression simple dépend de la qualité du ciment, du rapport C/E du coulis et de la nature du sol.

Recommandations

Points importants

En cas de problème, l'injection doit être arrêtée brutalement ; un arrêt lent et progressif stoppe l'effet dynamique du jet grouting et l'injection devient statique, l'énergie développée ne casse plus le sol, elle le claque. Des soulèvements ou des déplacements horizontaux peuvent en découler.

● Avantages de la technique de jet grouting :

- relative indépendance du procédé par rapport au type de sol, homogène ou non ;
- possibilité de fabrication d'éléments de diamètre important à partir de perforations de faible diamètre ;
- possibilité de réaliser des éléments de fondation ou de soutènements de géométrie définie, ce qui autorise des calculs de dimensionnement. Les expérimentations accumulées montrent qu'une colonne de jet peut être assimilée à un pieu de type « injecté faible pression » ;
- très bon contact entre les fondations existantes à renforcer et les colonnes de jet ;
- absence de vibrations ;
- réalisation de travaux dans des terrains difficilement accessibles avec du gros matériel.

● Inconvénients ou limitations de la technique de jet grouting :

- production d'excédent de mélange sol coulis qui doit être évacué ;
- risque de blocage des rejets dans l'espace annulaire entre tige et forage lors de la remontée pouvant provoquer un claquage du terrain et un soulèvement brutal ;
- dans les sols argileux, la mise en œuvre des fluides à haute énergie cinétique peut générer une augmentation momentanée des pressions interstitielles et créer des désordres au voisinage de la colonne ;
- baisse de portance momentanée immédiatement après la réalisation de la colonne (phases de déstructuration et de prise du coulis) ; cette baisse doit être contrebalancée par le nombre de colonnes déjà réalisées et par un phasage d'exécution ;
- risque d'une interruption de la colonne ou d'une perte de contact avec la structure reprise en sous-œuvre dans les matériaux graveleux ou dans les sables grossiers.

Ces risques font que le procédé est coûteux, car leur maîtrise nécessite des charges importantes de personnel parfaitement formé et d'équipements avec des coûts d'amenée et de repli élevés.

En revanche, cette technique permet des reprises en sous-œuvre sans déchaussement des fondations existantes et sans nécessiter de poutre ou massif de liaison.

Normes

NF EN 12716 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Colonnes, panneaux et structures de sol-ciment réalisés par jet.

Proposition de plan de contrôle

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Reconnaissance de sol	Étude de sol
Préparation	Évaluation de l'efficacité et définitions des paramètres	Colonnes d'essai avec constatation des géométries des colonnes par terrassement Éventuellement, pour gros chantiers, essai de chargement statique
Travaux	Maitrise des risques de soulèvement ou liquéfaction provisoire des sols porteurs	- Suivi topométrique pendant toute l'opération - Seuils d'arrêt
Travaux	Qualité du traitement	Contrôle des quantités de résurgences ou spoils
Travaux	Qualité du traitement	Contrôle du temps de prise des spoils
Travaux	Qualité du traitement	- Enregistrement des paramètres volumes, pressions, débits - Vitesse de relevage du train de tiges
Travaux	Qualité des coulis	Mesure de la densité, de la viscosité et de la décantation des coulis
Travaux	Qualité des coulis	Éprouvette Rc
Réception	Contrôle de la géométrie de la colonne	Méthode du cylindre électrique et impédance mécanique (FAFO 3.5.5)
Réception	Efficacité du traitement	Carottage des colonnes et essais d'écrasement