

Rapport technique / domaine des travaux spéciaux

Contenu : Présentation du principe de jetting

Rédaction : Gabriel Michienzi / Etudiant 3^{ème} année / 1700 Fribourg
Florian Coquoz / Etudiant 3^{ème} année / 1615 Bossonnens
Date : 6 Janvier 2019

Introduction :

Le jet grouting est principalement utilisé lors de reprises en sous-œuvre, notamment lors de grands travaux.

C'est un procédé de construction qui, en utilisant un jet de liquide à haute énergie cinétique déstructure le terrain et ainsi le mélange avec un coulis.

De ce fait, ce n'est pas un système d'injection mais plutôt un procédé de mélange hydrodynamique terrain-coulis qui formera un béton de sol dans la masse du terrain.

Le jet grouting utilise, seul ou combiné, plusieurs phénomènes physiques tels que :

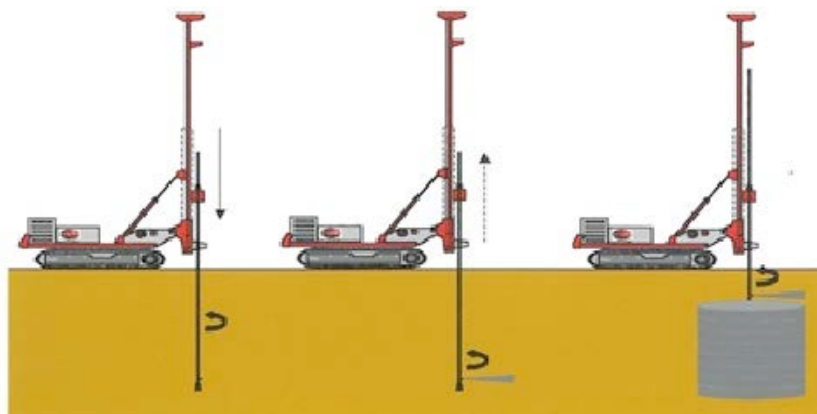
- Destruction du terrain par un jet à très grande vitesse
- Extraction du terrain jusqu'à la surface par les fluides du jetting
- Incorporation d'un liant apporté par le coulis



Méthode de travail :

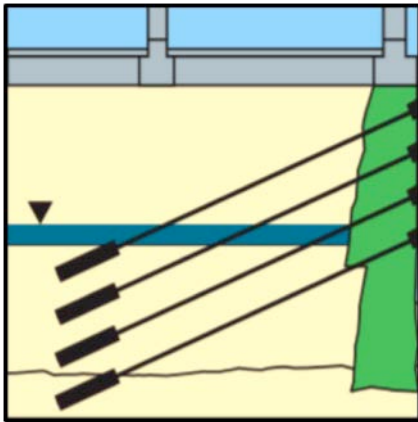
- Premièrement un forage de petit diamètre ($\varnothing 100$ à 200mm) est réalisé sur la hauteur à traiter.
- Ensuite, un jet de fluide est envoyé par une pompe haute pression à travers une ou plusieurs buses ($\varnothing 1$ à 10mm) placées au bout de la tige de forage ($\varnothing 70$ à 100mm)
- Pour terminer, la remontée des tiges de forage s'effectue avec une rotation afin de former une colonne de béton.

Pendant la phase de jet, le volume excédant du mélange sol-ciment (appelés spoils) doivent pouvoir ressortir librement en tête de forage afin de ne pas créer de claquage de terrain ou de dégâts dans le voisinage.



Le diamètre, composition, résistance des colonnes dépendra des paramètres du processus (vitesse de translation et de rotation des tiges, pressions et débit des fluides utilisés, dosage du coulis), des caractéristiques du terrain en place et de la méthode employée (simple, double, triple jet)

Domaine de mise en œuvre

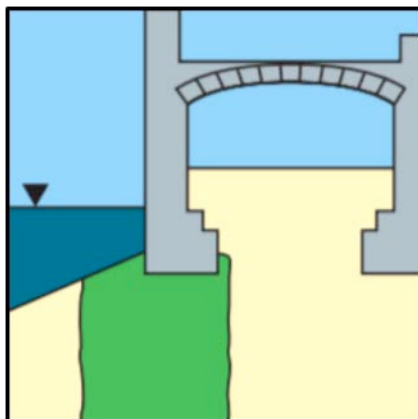
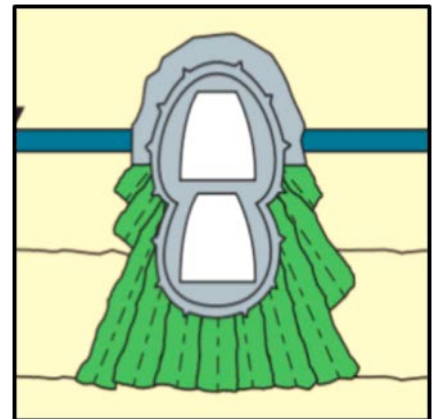


La reprise en sous-œuvre par création d'un mur-poids à faible déformation, parfois également utilisé comme une barrière étanche, peut être réalisée en toute sécurité même à partir d'espaces réduits.

Lorsque les contraintes sont importantes il est possible d'ancrer le mur dans le terrain.

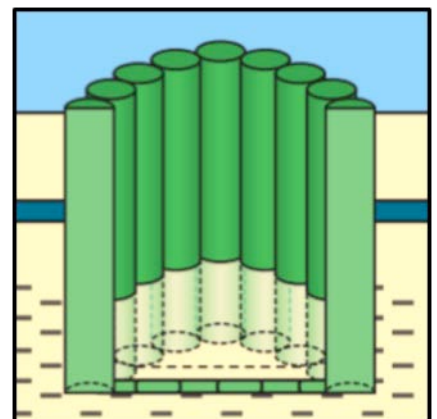
La protection de tunnel par les colonnes de jetting est principalement utilisée dans les sols lâches à proximité ou sous les ouvrages fragiles, parfois aussi dans le but de réduire l'arrivée d'eau dans l'excavation du tunnel.

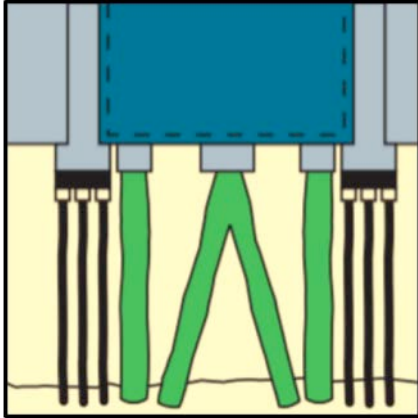
Il est également possible de réaliser des colonnes horizontales pour stabiliser le terrain préalablement à l'avancement du tunnelier.



Des bâtiments historiques peuvent être menacés par les tassements. Le jet-grouting permet de reconstituer des fondations saines avec un maximum de sécurité structurelle tout en évitant des travaux de fouille important.

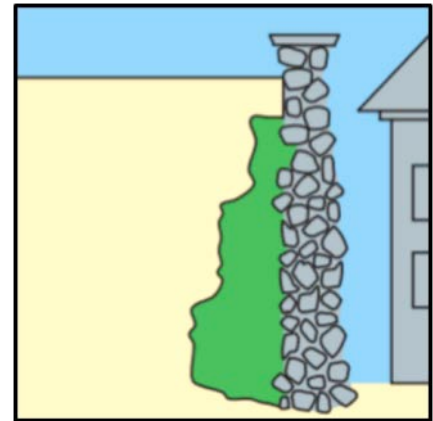
Les puits avec des colonnes sécantes sont réalisés si une installation sans vibration est nécessaire et/ou si le puits pénètre sous la nappe phréatique.



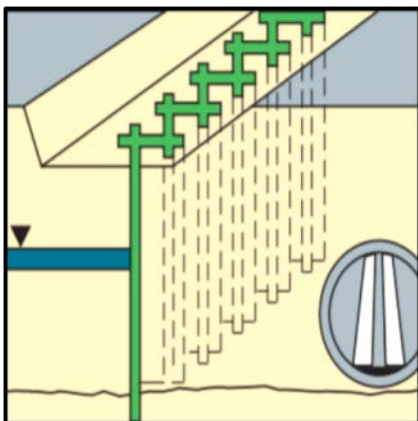


Le jetting est utilisé pour de nouvelles fondations qui nécessitent une attention spéciale par rapport à des ouvrages adjacents sensibles comme des bâtiments historiques ou autres ouvrages sensibles aux vibrations.

Les structures sujettes à la poussée des terres, comme les murs de soutènement anciens, culées de ponts, galeries d'avalanches, protections de talus ou murs de quais, peuvent être soulagées par l'ajout d'une masse statique de coulis injecté connecté à l'arrière de l'ouvrage.

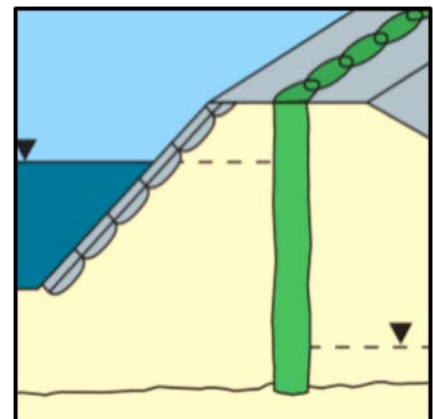


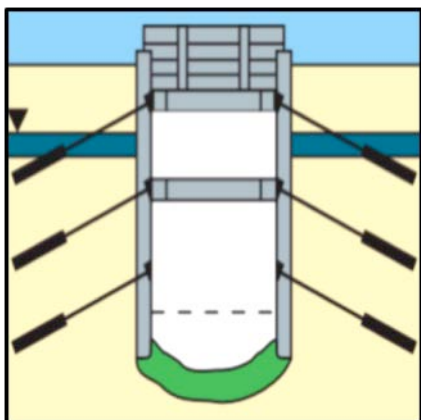
Mise en œuvre : étanchéité



Les voiles étanches en lamelles sont utilisés sous les routes et bâtiments, pour passer des réseaux ou subdiviser des soubassements de bâtiments en plusieurs fosses. En fonction du degré d'étanchéité requis, on utilise des lamelles simples ou doubles.

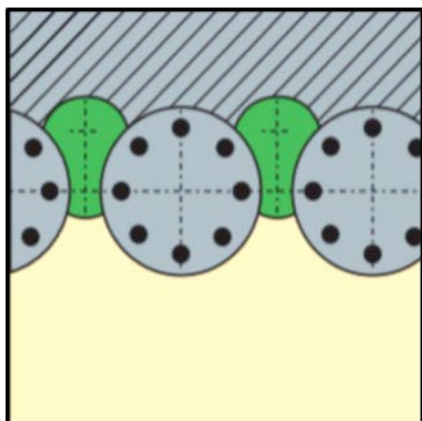
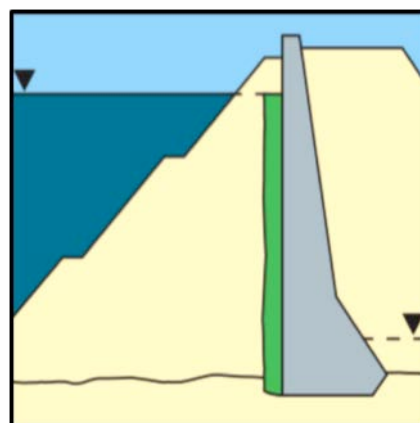
Dans le cas d'efforts tranchants importants, d'un risque de perte de fines ou de recherche d'une imperméabilité élevée, un voile étanche de colonnes sécantes peut être réalisé.





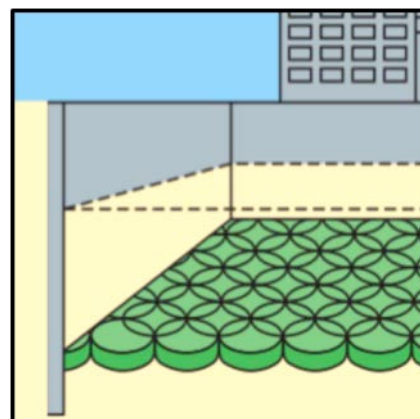
Pour les fosses ou puits de petites dimensions, des fonds en mélange terrain-coulis en forme de voûte ou de dôme inversé permettent de répartir la poussée d'Archimède sur la paroi périphérique de puits ou fouilles de petites dimensions. Cette disposition permet d'importantes économies par rapport aux dispositifs classiques.

Le Jet-grouting peut être utilisé pour réparer les barrages ou élargir le noyau étanche dans ou sous les barrages.



Pour étancher les joints entre des pieux, palplanches ou autres types de soutènement, on met en œuvre un élément intermédiaire.

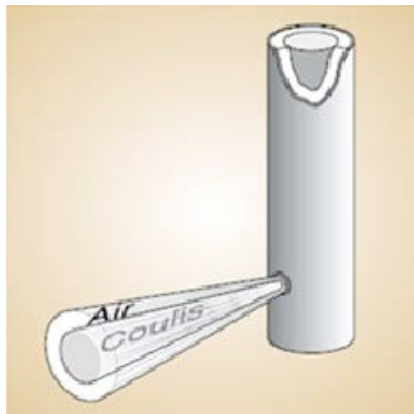
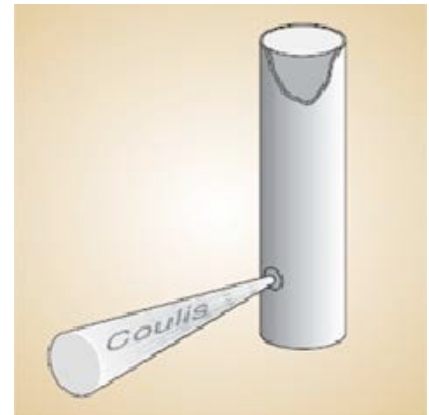
Les bouchons étanches sont réalisés par des colonnes de jet sécantes sur une épaisseur suffisante pour assurer la stabilité. Le bouchon étanche peut être connecté à tout type de soutènement, de blindage ou d'étanchéité vertical.



Méthodes de travail possible :

Le jet simple (coulis) :

Le jet de coulis découpe et mélange le sol en même temps sans apport d'air. Le jet sort à env. 100m/seconde. Il est principalement utilisé lors de l'exécution de petites à moyennes colonnes

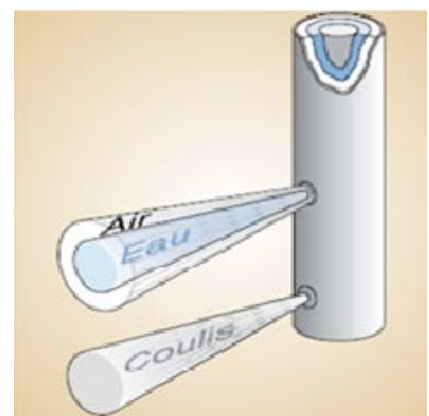


Le jet double (air-coulis) :

Le jet de coulis découpe et mélange le sol de la même manière que le jet simple. On y ajoute simplement de l'air autour de la buse du coulis pour en augmenter la capacité d'érosion et de ce fait le rayon d'action du jet de coulis. Ce procédé est utilisé pour le blindage de fouilles, les reprises en sous-œuvre et les bouchons étanches.

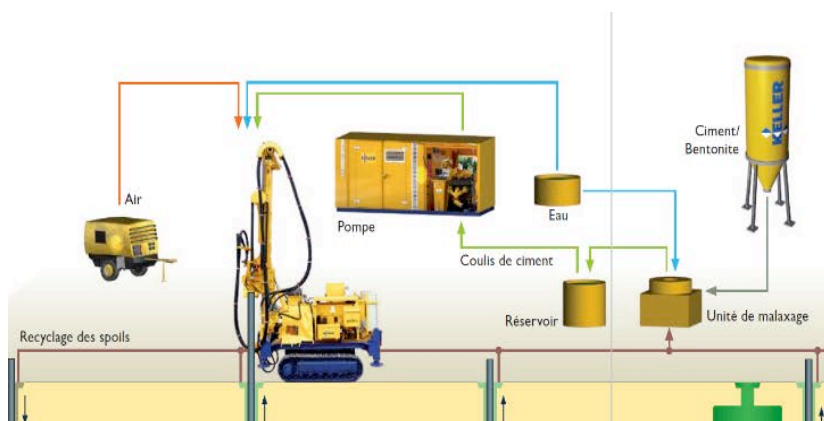
Le jet triple (eau-air-coulis) :

Le jet d'eau enrobé d'air découpe le sol, le coulis est injecté simultanément par une buse supplémentaire située au-dessous de la buse d'eau. Le coulis aura une pression supérieure à 15 bars à sa sortie. Ce principe est utilisé lors de reprises en sous-œuvre, exécution de voiles et bouchons étanches, et est plus adapté lors de travaux dans des sols cohésifs.



Machines / Matériel

L'installation pour le jet grouting comprend des containers de stockage, des silos, un compresseur et une unité compacte de malaxage et d'injection. Des conduites relient la pompe à la foreuse. La hauteur du mât varie de 2m40 à 34m suivant la machine utilisée et la place disponible. Les points de forages sont normalement situés dans des petites tranchées équipées de pompes. De là, les spoils (mélange eau-ciment-sol) sont pompés vers des bacs de décantation ou des réservoirs afin d'être évacué par après. Tout ceci nécessite une place d'installation importante. Lors de la préparation du chantier, il faudra en tenir compte afin que cette phase se passe au mieux et ainsi éviter des répercussions financières.



Avantages et inconvénients

- 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.
 - Permet de réaliser des éléments de fondation ou de soutènements de géométrie définie, ce qui autorise des calculs de dimensionnement.
 - On peut traiter le terrain dans toutes les directions ce qui offre de multiples possibilités d'adaptation
 - Très bon contact entre les fondations existantes à renforcer et les colonnes de jet
 - Absence de vibrations -> déformation minimum
 - Réalisation de travaux dans des terrains difficilement accessibles avec du gros matériel
-
- Production d'excédent de mélange sol coulis qui doit être évacué
 - Risque de blocage des rejets 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.

Analyse de prix

	Ø	long. max	charges	rendement	Prix installation	Prix par m'
Jetting	60cm	25m	~300kN	40-60m'/j	20'000-40'000.-	120-180.-/m'
	100cm	25m	~600kn	20-40m'/j	20'000-40'000.-	200-260.-/m'
Micropieux	150mm	60m	150-600kN	30-60m'/j	10'000-20'000.-	100-200.-/m'
	320mm	20m	max 1000kN	15-30 m'/j	10'000-20'000.-	220-350.-/m'
Pieux battus	30-50cm	20m'	300-2000kN	100-200m'/j	20'000-40'000.-	100-200.-/m'
Pieux par refoulement	45-60cm	~25m	500-2000kN	100-200m'/j	30'000-50'000.-	100-200.-/m'
Pieux forés	70cm	~30m'	1500-3000	30-50m'/j	30'000-50'000.-	300-400.-/m'
	90cm	~30m'	2000-4000	30-50m'/j	30'000-50'000.-	400-500.-/m'
	120cm	~30m'	4000-9000	20-50m'/j	30'000-50'000.-	600-700.-/m'

	Limon	Argile	Sable	Gravier	Moraine	Roche tendre
Injections						
Jetting						
Micropieux						
Pieux battus						
Pieux par refoulement						
Pieux forés						
Pieux barrette					! blocs !	

Après une rapide analyse du tableau ci-dessus il apparait que le jetting est financièrement intéressant, notamment grâce à une installation moins importante que certaines méthodes, mais par contre il n'est pas utilisable dans des terrains trop mous ou trop dur.

Conclusion

Le jet-grouting peut être une très bonne alternative à d'autres travaux spéciaux. Nous avons remarqué qu'il y a beaucoup de possibilités de réalisation avec ce système, que ce soit tant au niveau statique pour des travaux de reprise en sous-œuvre, tant au niveau de l'étanchéité avec l'exécution de rideaux et couches étanches. Il y a quand même un bon nombre de réflexions à faire et de paramètres à prendre afin de déterminer quel système de travaux spéciaux est le plus adapté à la situation.

Remerciement :

M. Mario Fiabane, M Jean Philippe Ryter

Site internet :

www.kellerholding.com, www.sif-groutbor.ch