

Rapport technique / domaine du Bâtiment

Contenu : Renforcement de sol à l'aide de résine expansive

Rédaction : Birchmeier Lionel / Ch. de la Fontaine 3 / 1607 Les Thioleyres /
Nolwenn Lambelet / Les Bolles-du-Temple 26 / 2117 La Côte-aux-Fées

Date : 15 mars 2022

Introduction :

Le renforcement de sol à l'aide de résine expansive est un procédé qui consiste à injecter une résine synthétique dans les couches profondes du sol sous les fondations. La résine est injectée sous forme liquide. Cette dernière va se dilater immédiatement et durcit dans un délai très court ce qui permettra d'avoir un sol compact. Après l'injection, la capacité portante du sol sera améliorée selon le type de résine et grâce à cela, les tassements seront évités.

Ce procédé convient aussi bien pour les terrains granulaires que les terrains cohésifs, il permet de remédier aux défauts de portance, mais aussi aux défauts de sécheresse. Ce procédé est adapté à tous les types de fondations : semelles filantes, semelles isolées, radiers, maçonneries et autres.

Ce système peut être utilisé sous tous les types de fondations de bâtiment :

- Maisons individuelles et immeubles
- Bâtiments industriels, usines
- Surfaces commerciales et bureaux
- Bâtiments publics, ouvrages d'art
- Monuments historiques et bâtiments anciens

Ce procédé est principalement mis en œuvre dans les cas suivants :

- Dessiccation des couches superficielles du terrain (sécheresse)
- Présence d'arbres à proximité du bâtiment dont les racines pompent l'eau jusque sous les fondations
- Eboulement de sol suite à des travaux d'excavation
- Vibrations et secousses causées par un trafic lourd, un trafic ferroviaire, des chantiers ou des tremblements de terres

Étape de travail :

Étape n°1 :

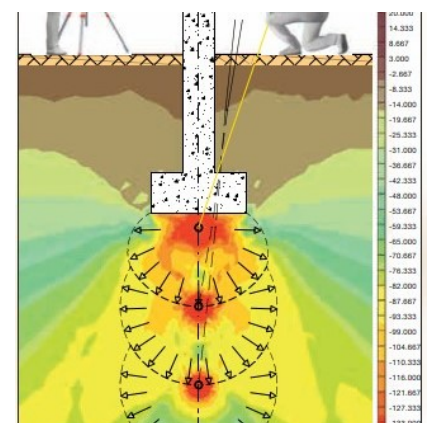
Les percements : Ils sont généralement d'un diamètre inférieur à 30 mm, ces derniers sont exécutés directement au travers des fondations existantes afin de traiter le volume de sol avec précision. Par la suite, des tubes sont insérés dans les forages afin d'injecter la résine dans le sol. Généralement, il y a trois tubes au même endroit avec des orientations différentes pour permettre une bonne injection.

Étape n°2 :

Les injections : La résine est injectée à l'état liquide. Durant cette étape, elle pénètre et se diffuse dans le sol avant son expansion (gonflement). Lors de son expansion, la force de gonflement peut être supérieure à 10'000 kPa ($\sim 100 \text{ kg/cm}^2$). La pression de gonflement est choisie en fonction du confinement et de la descente de charge du bâtiment ou du terrain à stabiliser.



Schéma d'injection



Principe d'injection

Étape n° 3 :

Le soulèvement et la consolidation : L'expansion de la résine continue jusqu'à ce que le terrain n'accepte plus une compression radiale supplémentaire. À ce moment, l'expansion de la résine se fait dans la direction de moindre résistance, ce qui va entraîner un soulèvement de l'ouvrage. Pour contrôler l'expansion du sol injecté, on doit installer des récepteurs lasers sensibles au millimètre. Cette étape est terminée lorsque l'injection est arrêtée avec la certification que la capacité portante du sol soit devenue acceptable.

Données opérationnelles :

Diamètre des percements :	< 30 mm
Distance maximale entre le camion et le lieu d'intervention :	80 m
Profondeur maximale des injections :	15 m
Écartement des injections :	50 – 150 cm

Avantages et inconvénients du système en général :Avantages :

- Pas de travaux d'excavation au préalable
- Coût raisonnable
- Exécution rapide et effet immédiat
- Pas de vibration
- Pas de gêne pour les eaux souterraines
- Sécurité maximale avec un contrôle au laser

Inconvénients :

- Évacuation des matériaux en DCMI, si excavation ultérieure
- Choix de la bonne résine
- Travaux complémentaires de piquage
- Perte de temps liés aux travaux complémentaires de piquage

Propriété des résines expansives :

Ce sont des résines à base de polyuréthane qui sont formées par une réaction exothermique entre le polyol et un acide isocyanique. Au cours de cette réaction, une grande quantité de dioxyde de carbone est libérée qui va permettre l'expansion volumétrique et lui donner sa consistance de type mousse. Pour que la réaction se fasse, il faut la présence d'eau. En l'absence d'eau, un ingrédient liquide supplémentaire est nécessaire pour activer son gonflement qui va être quasiment instantané.

Chantier type – Travaux de renforcement avec système d'injection de résine :

Pour la construction d'un nouveau sous-sol dans une maison existante historique, classée type 2 au bord du lac. Cette bâtisse a été construite sur un terrain qui n'a aucune cohésion, l'aspect de ce sol ressemble à de la grave non compactée. Durant l'excavation de ce dernier pour la réalisation du sous-œuvre, le terrain se vidait et créait des vides cachés derrière le bâtiment. Ces vides posaient un problème, car d'un côté, se trouvait une route cantonale et de l'autre une route de desserte pour des villas voisines. Mais la plus grande difficulté était que le bâtiment ne devait en aucun cas subir de vibration et de tassement pour éviter toutes fissures ultérieures, suite aux travaux de réalisation du nouveau sous-sol.

L'ingénieur a dû rapidement réagir à la situation, car le chantier devait impérativement continuer pour respecter les délais très courts fixés par le Maître d'ouvrage. Pour y parvenir, la Direction des Travaux a organisé une séance spécifique pour trouver une solution. L'ingénieur a donc proposé la méthode de renforcement du terrain par l'utilisation

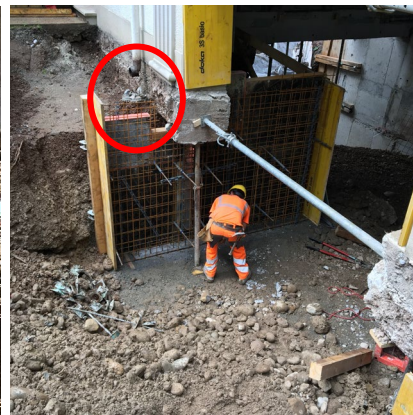


Exemple de vide dans le terrain

de résine injectée pour améliorer la cohésion du terrain. Le chantier a quand même dû être arrêté une semaine pour éviter tout mouvement du terrain avant la stabilisation. Ensuite, un compromis dans le choix de la dureté de la résine a dû être fait. La résine devait être assez dure pour stabiliser le terrain et empêcher la création de vides, mais devait rester assez tendre pour que les parties du terrain injectées à terrasser pour le nouveau sous-sol ne posent pas de problème lors de l'excavation.



Mousse injectée après piquage



Surplus de mousse après injection

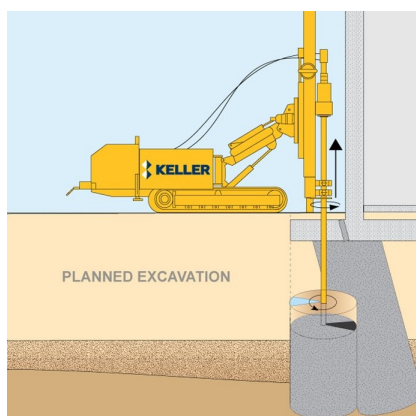
Ce qui est très intéressant avec ce système, est le fait que la réalisation des injections est rapide et qu'il n'aura fallu seulement 2 jours pour s'installer, percer et injecter (environ 30 tubes injectés, il y a 3 tubes par section) la résine expansive à une profondeur d'environ 4 à 5 mètres. Mais un des gros inconvénients de ce procédé pour le conducteur de travaux, est l'annonce à la Direction des Travaux d'une augmentation sur le prix de l'excavation à cause d'un rendement plus faible car l'excavation du sous-sol se fait maintenant dans un sol renforcé donc plus dur. Ce qui engendre des travaux supplémentaires de piquage pour la réalisation du nouveau sous-sol.



Ouvrage après exécution des sous-ouvrages

Différentes variantes :

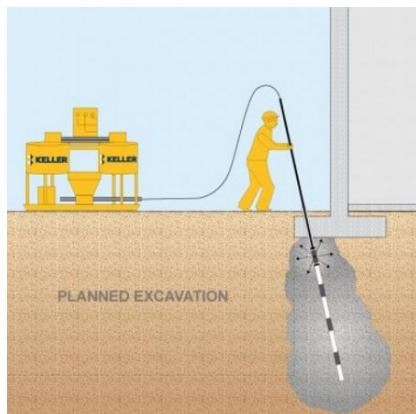
Variante 1 : Jet grouting



Le système de jetting utilise un jet de fluide à haute pression pour déstructurer le terrain et le mélanger avec le coulis de ciment. C'est un procédé de mélange entre le terrain et le coulis visant à former une sorte de pieux dans la masse du terrain. C'est une des possibilités qui a été étudiée lorsque nous avons eu le problème sur le chantier cité ci-dessus. Pour plusieurs raisons, ce système ne pouvait pas être utilisé. L'inventaire et l'installation pour la mise en œuvre du jetting est importante et nous n'avions pas la place.

En utilisant ce système, on a l'assurance que le bâtiment ne subisse pas de déformations donc pas de fissurations. Le terrain en place était bien adapté à ce procédé. Cette variante aurait aussi permis de faire de plus grandes étapes et donc de gagner du temps.

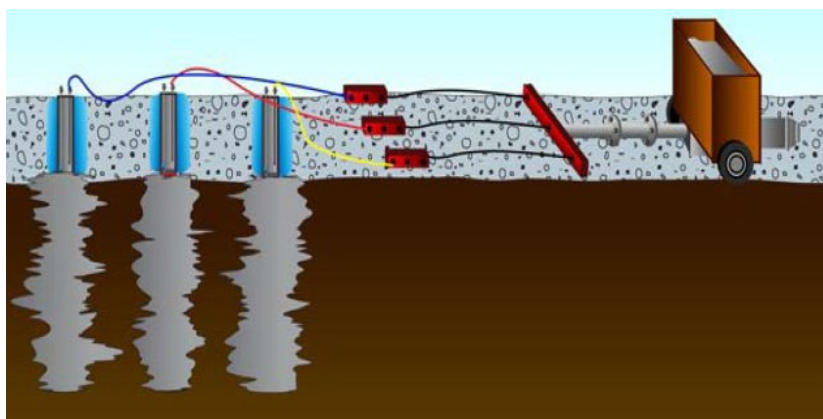
Variante 2 : Technique d'injection de sol avec coulis de ciment



Ce procédé pourrait également être une variante d'exécution à la technique d'injection de résine expansive. L'exécution se fait avec un équipement peu encombrant et léger idéal pour les lieux restreints.

Les renseignements sur le type de sol et l'épaisseur des différentes couches est nécessaire pour déterminer le forage à exécuter.

Lors de reprise en sous-œuvre pour traverser une fondation en béton ou en cas de présence de roche dans le sol, la mise en œuvre se fait avec un forage de diamètre 90 mm. Pour un sol argileux ou limoneux, une simple tarière est suffisante pour faire le forage.



Ce système consiste à faire des forages tous les 1 à 1.5 m de distances des uns des autres puis on y introduit une gaine tubulaire percée en acier inoxydable qui sert de tube d'injection pour le coulis de ciment. Ces tubes sont d'une longueur entre 1 à 6 m et d'un diamètre de 22 mm. Les tubes d'injections sont reliés les uns aux autres par boulonnage. Une fois le système mis en place, on injecte le coulis de ciments qui est fait sur place à l'aide de malaxeur, le durcissement se fait dans les 24 h sans retrait ni gonflement.

Dans le cas du chantier ci-dessus, nous n'avons pas choisi ce type de procéder, car après le renforcement du sol de fondation, nous devons excaver le sous-sol du bâtiment. Avec ce type d'injection, le sol injecté aurait été trop dur à excaver pour créer le nouveau sous-sol du bâtiment.

Conclusion :

Le système de renforcement du sous-sol à l'aide de résine expansive est un très bon procédé lorsqu'on dispose de peu de place et d'accès restreint. Cette méthode peut être utilisée aussi bien pour les terrains granulaires que cohésifs et permet de remédier rapidement aux problèmes de portance et de cohésion du sol.

Sources / références :

- Documentations et illustrations : <https://www.uretek.ch/>
- Documentations et illustrations : www.keller-mts.ch
- Documentations diverses Uretek : Deep Injections, Presentation Technique