

Rapport technique / domaine du génie-civil / travaux spéciaux

Contenu : Forages dirigés horizontaux

Rédaction : Quentin Frossard et Thomas Plumey / Etudiants conducteur de travaux 3^{ème} année
Date : 14 mars 2023 v1.1

Forages dirigés horizontaux

Introduction :

Lors de la création de nouvelles conduites, la solution jusqu'à maintenant était de creuser une fouille en tranchée sur toute la longueur de la conduite. Cela provoque de gros problèmes de circulation, des nuisances sonores, de poussière, de transports et stockage des matériaux excavés. Il était également impossible de réaliser des passages de conduites sous des voies ferroviaires, des autoroutes ou des rivières.

Avec l'arrivée des systèmes de forages dirigés depuis quelques dizaines d'années, cela rend ces fouilles possibles sans grands dérangement pour les usagers. Ce système consiste en la réalisation d'un forage pouvant être dirigé tant de manière horizontale que verticale, afin de raccorder une cellule de poussée à une cellule de réception préalablement réalisé.

Les dimensions maximales sont dépendantes de la machine, voici quelques estimations :

- Longueur maximale : jusqu'à plusieurs centaines de mètres
- Diamètre maximale du tuyaux ou paquets de tubes : Ø1800mm
- Rayon minimum de courbure : 30 à 50m selon la machine et le type de conduites
- Type de tuyaux : PE pression, fonte, acier
- Utilisation : eau potable, eaux usées, eaux claires, gaz, électricité, fibre optique, chauffage à distance, etc ...



Réalisation :

Travaux préparatoires :

A chaque extrémité de la réalisation, une cellule est nécessaire (cellule de poussée et de réception). Suivant les cas (type de terrain, profondeur, présence ou non d'eau souterraine), les cellules peuvent demander un peu de réflexion concernant l'étaiyage afin de ne pas obstruer le passage. L'installation de chantier doit être



étudier en amont de garantir les surfaces nécessaires à une réalisation dans les règles de l'art. L'inventaire minimum nécessaire est : une foreuse, un camion équipé d'un bac de mélange pour la bentonite ainsi que d'une pelle pour les différentes manutentions.

Le forage pilote :

La foreuse est mise en place dans la cellule de poussée, elle est équipée d'un panier de barres qui seront vissées les unes aux autres au fur et à mesure de l'avancement. Une tête de forage est fixée à l'avant de la première barre. Le forage progresse par rotation et poussée. De la bentonite est injectée pour évacuer les matériaux et consolider le forage. Il existe plus d'une centaine de sortes de tête permettant un passage dans tous les types de terrain. En cas de présence de blocs isolés infranchissable, il faut reculer et changer de trajectoire. La tête de forage est équipée d'une sonde permettant le suivi depuis la surface (pente avec 0.1% de précision, profondeur, rotation, température). Cet équipement permet de corriger la trajectoire si nécessaire. La tête est biseautée, afin de la diriger en choisissant le bon angle. Il faut être attentif afin de ne pas perdre l'alignement avec la sonde. Sur les machines modernes, il est possible de choisir la fréquence d'onde en fonction de l'environnement (ligne électrique, dalle béton, etc) du forage pour une communication optimale.

L'alésage :

L'alésage est l'agrandissement du tunnel. On alèse en moyenne 1.2x le diamètre du tube dans des terrains meubles et jusqu'à 1.5x dans les terrains rocheux. Un alésoir adapté à la nature du sol est monté à l'avant de la première barre. La foreuse ramène l'alésoir contre elle par traction et rotation. De la bentonite est à nouveau injecté dans le tunnel afin de garantir sa stabilité et l'évacuation des matériaux. Pour de grands diamètres, plusieurs passages d'alésoir de différent diamètre est nécessaire.

Lorsque plusieurs passages d'alésage sont nécessaires, plusieurs possibilités s'offrent à nous :



- La tête d'alésage est conservée et repousser jusqu'à la cellule de réception. Là, un nouvel alésoir est installé et retiré vers la cellule de poussée. C'est la solution la plus simple, mais elle n'est pas réalisable dans tous les terrains.
- La tête d'alésage est remplacée par la tête de forage et poussée jusqu'à la cellule de réception en utilisant le même tracé ce qui n'est pas évident. Un nouvel alésoir est installé et retiré vers la cellule de poussée. Cette solution demande plus de manutention et de précision lors de l'exécution.
- Lors de l'installation de la tête d'alésage, des tiges de la foreuse sont installées à l'arrière de la tête d'alésage. Ensuite, la tête est tirée et suivie par les tiges qui sont vissées les unes aux autres

manuellement. Cette solution est complexe et n'est pas à privilégier, mais dans certains cas, il n'y a aucune autre possibilité.

Le tirage :

La tête de forage est repassée dans le tunnel jusqu'à la cellule réception. Ensuite, la conduite est fixée à la tête de tirage, qui l'entraîne à travers le tunnel pour rejoindre la cellule de poussée. De la bentonite est injectée en continu durant le processus. Elle sert de lubrifiant et permet de combler les vides



restants dans le tunnel. Dans certaines situations, l'enrobage du tube en bentonite n'est pas suffisant, il faut donc injecter à la place du coulis de ciment.

La bentonite :

La bentonite est une variété d'argile servant à constituer des boues bentonitiques, utilisées pour la réalisation de pieux ou parois moulées à l'intérieur d'une excavation dans le sol. Son rôle est de colmater le terrain et de s'opposer aux éboulements par contre-pression, grâce à leur forte densité. Afin de prévoir le bon volume de bentonite à utiliser, on estime les besoins entre 2 et 7x le diamètre d'alésage en fonction du terrain. Lors de grands forages, cela peut représenter de gros volumes de bentonite. Il faut donc la recycler sur place, mais cela demande de grosses installations car elle est chargée de limons, gravier, etc. Cependant l'avantage du recyclage est l'ininteruption de l'alimentation en bentonite.

Données techniques et rendements :

- Cette méthode de travail est complexe, suivant les terrains, il est possible de perdre beaucoup de temps, voir même une partie de l'inventaire.
- La machine possède davantage de force en traction quand poussée.
- Lors d'un chantier sans difficulté et dans des conditions parfaites, le forage peut atteindre 100/h. Dans la pratique, ce rendement est inatteignable, par exemple pour le chantier ci-dessous, le rendement était d'environ 10m/h.
- Le cout estimatif d'un tel forage est d'environ 1CHF/mm de diamètre par m linéaire. Exemple pour un $\varnothing 125\text{mm} = 125\text{CHF/m}$



Cas pratique :

Lors du stage de deuxième année, l'un d'entre nous a eu la possibilité de suivre un chantier de forage dirigé avec l'aide d'un sous-traitant. Ce chantier d'une longueur de 80m, comportait un passage sous une voie CFF et un bâtiment industriel.

Des contacts ont dû être pris avec les CFF longtemps en avance afin de leur faire valider le projet et la méthode d'exécution. De plus, avant et après les travaux, un contrôle et des niveaux et du dévers de la voie a été réalisé. Lors du passage sous la voie, un protecteur des CFF était présent sur le chantier pour garantir la sécurité de tous les intervenants.

Le principal risque est de tomber sur une poche souterraine pouvant entraîner un éboulement et une fermeture de la voie pour plusieurs jours, comme cela s'est passé à Tolothenaz (le chantier a été réaliser quelques semaines après cet accident) il y a maintenant quelques années. Pour éviter les problèmes futurs, les CFF ont également demander qu'un enrobage à l'aide de coulis de ciment soit réalisé sous la voie et quelques mètres de chaque côté.

Avantages et inconvénients :

Avantages :

- Diminution des perturbations
 - Pour les usagers de la route
 - Pour les commerçants
- Réduit la durée des travaux
- Les risques d'accidents
- Le bruit et les vibrations
- L'emprise du chantier
- Utilisation d'inventaire réduit
- Réduction du volume d'excavation
- Respect de l'environnement (faible émission de CO₂, faible consommation d'énergie)
- Application fiable et sur selon les règles de l'art

Inconvénients :

- Possibilité déformation en surface
- Possibilité d'endommagement du réseau existant
- Demande d'étude préalable complexe
- Connaissance du terrain parfois partiel

Catalogues CAN :

- CAN 152 Fonçage de tubes

Normes relatives aux forages dirigés :

- SIA 118 Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction
- SIA 118/198 Conditions générales pour constructions souterraines
- SIA 118/267 Conditions générales pour la géotechnique
- VSS 118/701 Conditions générales pour la construction des routes et des voies de communications
- SIA 190 Canalisations
- SIA 195 Fonçage de tubes
- VSS 40 575 Travaux de terrassement – Classe d'exploitation et recommandations
- VSS 40 581 Terrassement, sol – Protection des sols et constructions
- VSS 40 585 Compactage et portance – Exigences
- VSS 70 317 Sols – Essais de plaque E_V et M_E
- SN 670 050 Granulats – norme de base
- SN 670 071 Recyclage – Norme de base
- ISO 25 780 Système de canalisations en matière plastique pour l'alimentation en eau avec ou sans pression, pour l'irrigation ou l'assainissement – Système en matière plastique thermdurcissable renforcé de verre (PRV) à base de résine de polyester non saturé (UP) – Tubes avec assemblage flexible destiné à être installés par les techniques de poussées

Conclusion :

Les forages dirigés sont un bon procédé pour la mise en de conduites dans le sol sans réaliser de gros travaux de génie-civil à travers divers obstacles tel que routes, autoroutes, voies ferroviaires, cours d'eaux, constructions, etc ...

Cette solution comporte beaucoup d'avantages au niveau de l'environnement, des finances et pour les usagers de la zone impactée. C'est aussi très intéressant du point de vue du développement durable. Cependant, il est primordial de réaliser une étude géotechnique avant de réaliser un tel ouvrage. Cette méthode est malgré tout plus onéreuse que la méthode traditionnelle de fouille en tranchée.

Remerciements :

Monsieur Michael Dell'Anna de l'entreprise Travaux Sans Tranchées Sàrl à Moutier.

L'entreprise Marti Arc Jura SA à Porrentruy pour les données techniques du chantier.

Normes relatives aux forages dirigés :

Entreprise de forages dirigés en Suisse :

- Schenk SA : <https://www.schenkag.com/gesteuerte-horizontal-bohrtechnik/>
- Zmoos SA : http://www.zmoos.com/fr/forage_dirige.php

Entreprise de forages dirigés en France :

- FTCS Forage : <https://www.ftcs-forage.com/nos-activites/forage-dirige/>

Fabriqueur de foreuses Allemand :

- Traco-Technik GmbH & Co. KG : <https://tracto.com/fr>

Fabriqueur de foreuses Américain :

- Vermeer Corporation : <https://www.vermeer.com/na/pipeline>

Informations sur la bentonite :

- Infociments, la bentonite : <https://www.infociments.fr/glossaire/bentonite>