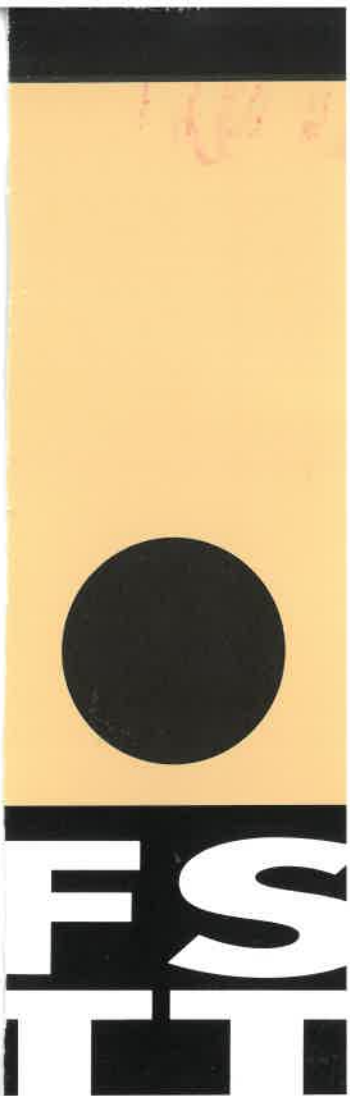




Travaux sans tranchée

Pose de canalisations par forage dirigé

Document réalisé
par l'atelier 7
de la FSTT

septembre 2001



FSTT
Comité Français pour
les Travaux Sans
Tranchée

4, rue des Beaumonts
94120 Fontenay/Bois
Tél : 01 53 99 90 20
Fax 01 53 99 90 29
www.fstt.org
E-mail : fsttparis@aol.com

Construisons ensemble sans tranchée

L'OBJET DE L'ASSOCIATION

L'association FSTT de caractère scientifique et technique a pour objet la promotion, la connaissance, la formation et la pratique des méthodes sans tranchée pour les travaux relatifs aux canalisations des réseaux enterrés de toute nature.

Ces méthodes sans tranchée s'entendent en souterrain, sans creusement de tranchée pour l'entretien, la rénovation et le remplacement des ouvrages existants et la construction d'ouvrages neufs de réseaux publics, privés ou concessionnaires. Ce domaine d'activité couvre toutes les techniques de repérage ou de cartographie de ces réseaux.

Le champ d'application s'étend au domaine non visitable, soit tout ouvrage enterré de dimension inférieure ou égale à 1200 mm ou équivalent s'il s'agit d'un ouvrage non circulaire.

LES STATUTS DE LA FSTT

Créé le 4 Juillet 1990, le Comité Français pour les travaux sans tranchée - FSTT dans sa dénomination française et French Society for Trenchless Technology pour ses rapports internationaux est une association régie par la loi 1901 à but non lucratif. Il se compose de membres fondateurs, de membres actifs et de membres honoraires. Cette association est administrée par un conseil élu par assemblée générale ; ce même conseil d'administration élit un bureau exécutif.

LES OBJECTIFS DE L'ASSOCIATION

Les diverses actions doivent se développer selon plusieurs axes :

- La promotion des techniques sans tranchée (faire connaître ces techniques par de l'assistance, expertise en encouragement et même enseignement).
- La réglementation - normalisation (élaboration de normes, de cahiers techniques contractuels, réglementations diverses).
- La recherche (matériel, guidage, reconnaissance, matériaux, outils d'aide au diagnostic...).
- L'information, Communication (revues, brochures, livres, conférences, colloques, centre de documentation).
- Vie associative (Missions, Voyages d'études, séminaires, remises de prix).

Sommaire

	page
1 – Généralités, applications	1
- Traversées de points spéciaux	2
- Travaux sous voirie	
2 – Marché du forage dirigé	3
3 – Caractéristiques générales	4
4 – Limitations géologiques et risques	4
5 – Préparation du forage	5
6 - Matériel	5
7 - Principe de fonctionnement	
- Forage, alésage et mise en place de la canalisation	6
- Détection et guidage	7
- Outils	8
8 – Performances du forage dirigé	9
9 - Forage dans le rocher	10
- Etudes préliminaires	
- Contraintes spécifiques au forage dans le rocher	
10 - Les fluides de forage	11

1 – Applications et avantages du forage dirigé

Dérivé des forages pétroliers le forage dirigé est une technique permettant la pose de câbles, fourreaux et canalisations par voie souterraine, sans ouverture de tranchée.

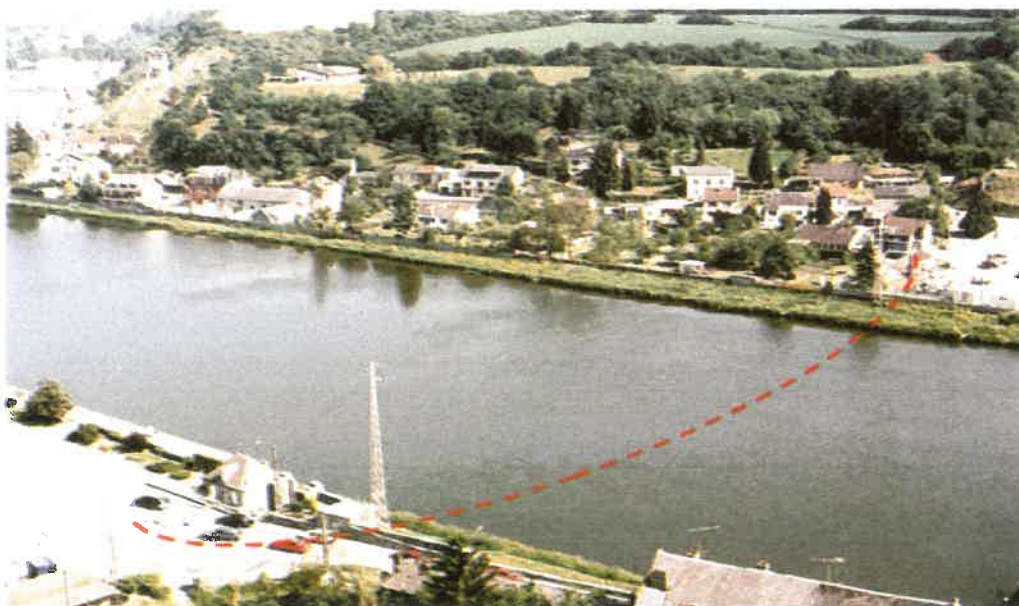
Il trouve son application dans les franchissements de points spéciaux et dans les travaux sous voirie.

- Franchissements de points spéciaux

Ils sont généralement réalisés par des entreprises spécialisées et concernent les autoroutes, les rivières, les canaux, les voies ferrées où ils constituent souvent la solution la mieux adaptée, techniquement et économiquement.



Traversée d'autoroute



Traversée de rivière

- Travaux sous voirie

En ville, la pose par voie souterraine est une solution alternative aux techniques traditionnelles, présentant des avantages considérables pour l'environnement:

- **Réduction des nuisances**, de la gêne pour les riverains et pour la circulation (pas de tranchée, pas d'engins, pas de déblais à évacuer en décharge, pas de dégradation de la chaussée...).
- **Gain de temps important.**



Pose de canalisation sous voirie avec ouverture de tranchée



Pose de canalisation sous voirie par forage dirigé

Exemple : Pose de 100 mètres de canalisation en ville, sous voirie**- Avec ouverture de tranchée**

		Matériel	Durée
1	Installation du chantier Signalisation Découpe des enrobés		1 jour
2	Ouverture de la tranchée et transport des déblais en décharge		2 jours
3	Pose d'un lit de sablon Pose de la canalisation Remblaiement de la tranchée		1 jour
4	Compactage Réfection des enrobés Démontage du chantier		1 jour

Total: 5 jours**- Par forage dirigé**

		Matériel	Durée
1	Repérage des réseaux Préparation du profil de forage		1 jour
2	Forage pilote Alésage et tirage de la canalisation		2 jours

Total: 3 jours**2 - Marché du forage dirigé**

Le forage dirigé est aujourd'hui une technique en pleine expansion, largement développée aux Etats-Unis, dont c'est le pays d'origine, et en Allemagne. En France, après un démarrage plus tardif, le forage a connu ces dernières années une croissance spectaculaire, avec un parc de 160 foreuses.

Parcs de foreuses dans le monde**USA: 15.000 machines****Allemagne: 600 machines****Grande Bretagne: 200 machines****France: 160 machines**

3 - Caractéristiques générales du forage dirigé

Classification	Les matériels de forage dirigé se définissent par rapport à leur effort de traction (en tonnes) et à leur couple (en N.m) .
Longueurs	Selon la taille des machines les tronçons unitaires vont de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.
Diamètres	Jusqu'à 1 m pour les gros matériels. Dans la pratique 80% des forages sont d'un diamètre inférieur à 200 mm.
Canalisations	Polyéthylène Haute Densité (PEHD), PVC ou acier, pour le gaz, l'électricité, le téléphone, la fibre optique et l'eau (adduction, assainissement).
Courbes	Rayon Limité par l'élasticité des tiges et de la canalisation..
Précision	Directement liée à la nature du sol. Dans des terrains homogènes et compacts elle peut atteindre 2 à 5 cm.
Personnel	La mise en œuvre de cette technique nécessite une équipe de deux à quatre personnes expérimentées. Une formation approfondie est indispensable.

4 - Limitations géologiques et risques

Géologie	Dans le cas général (matériels équipés de tête de forage classique à bec) le forage dirigé convient pour les terrains homogènes (sables, limons, argiles, terre végétale, craie...). A partir d'une certaine taille de machines (12 tonnes de poussée minimum) Il devient également possible de forer dans la roche. Calcaires, schistes, grès, granites, peuvent alors être traversés sans difficultés majeures en utilisant des équipements spéciaux. En revanche graviers et surtout galets sont extrêmement difficiles, voire impossibles, à forer.
Risques	Risques pour les réseaux en place et les structures enterrées en cas de méconnaissance de leur position exacte dans le sol. Risques de déformations des chaussées et de remontée de bentonite en cas de travail à une profondeur insuffisante ou d'une mauvaise gestion de la boue de forage.

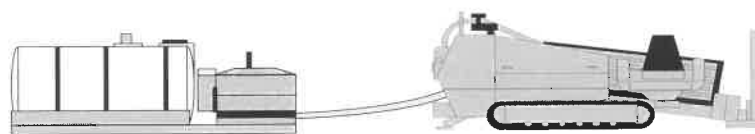
5 - Préparation du forage

Réseaux Une connaissance précise des différents réseaux en place est indispensable. Si un doute persiste sur la localisation exacte d'un réseau sensible tel que gaz ou électricité haute tension (HTA) il est impératif de réaliser une fouille au niveau du croisement.

Géologie En cas d'incertitude sur la nature et la dureté des terrains à traverser l'analyse d'un échantillon par un laboratoire spécialisé et une étude de sol sont indispensables pour confirmer la faisabilité du forage et déterminer le profil et l'outillage adéquats.

Profil La réussite d'un forage dépend étroitement du soin avec lequel le profil a été préparé. Les quelques heures consacrées à cette préparation peuvent dans bien des cas se traduire sur le chantier par plusieurs journées d'économie et éviter les incidents. Les constructeurs proposent maintenant des logiciels permettant de faciliter cette opération.

6 - Matériel



Centrale à boue

Chariot de forage

Les matériels sont constitués de deux ensembles:

- Le chariot de forage

Ce chariot comprend généralement, sur un même châssis:

- La foreuse, avec son panier de tiges,
- Le moteur thermique,
- L'installation hydraulique (pompe, moteurs, vérins)
- Une pompe à boue haute pression à pistons,
- Le poste de conduite.

Il est parfaitement autonome tant pour ses déplacements que pour le forage.

- La centrale à boue

Cette centrale va malaxer la boue de forage et alimenter la pompe de la foreuse.

Elle est constituée d'une ou deux cuves, selon les modèles (1.000 à 6.000 litres de boue) ainsi que d'un système de mélange. Un petit moteur auxiliaire assure son fonctionnement.

Transport

En général les unités de forage sont transportées:

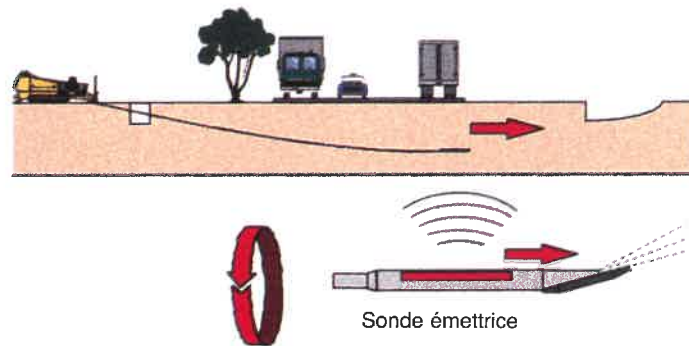
- Soit dans un camion, la centrale à boue restant dans le fond de celui-ci.
- Soit sur un ensemble composé:
 - . d'un camion avec grue de manutention pour la centrale à boue,
 - . d'une remorque pour le chariot de forage.
- Soit sur une semi-remorque.

7 - Principe de fonctionnement

Un forage dirigé comporte deux étapes:

- La réalisation d'un trou "pilote"
- L'alésage (ou les alésages) et la mise en place de la canalisation.

a - Forage du trou pilote



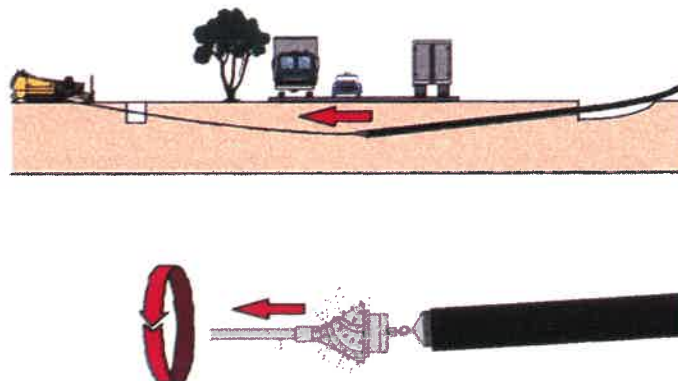
Un train de tiges pénètre dans le sol sous l'action combinée de la poussée et de la rotation d'une tête de forage, équipée à son extrémité d'un bec d'usure adapté à la nature du terrain.

Au fur et à mesure de la progression de l'ensemble, des tiges, d'une longueur de 2 à 6 mètres selon la foreuse, sont ajoutées.

Par ailleurs, cette tête de forage est munie de buses d'injection de boue de forage.

Cette boue, un mélange d'eau, de bentonite et d'additifs est réalisée et malaxée dans la cuve, puis envoyée sous pression à l'intérieur des tiges.

b - Alésage et mise en place de la canalisation



La tête va maintenant être démontée et un alésoir va être installé afin d'agrandir le trou jusqu'au diamètre définitif (1,5 fois le diamètre de la canalisation).

Cet alésoir est lui aussi équipé de gicleurs d'injection pour la boue de forage et la boue va permettre, ici encore, de lubrifier, de refroidir, de consolider le tunnel et d'évacuer les déblais vers la surface.

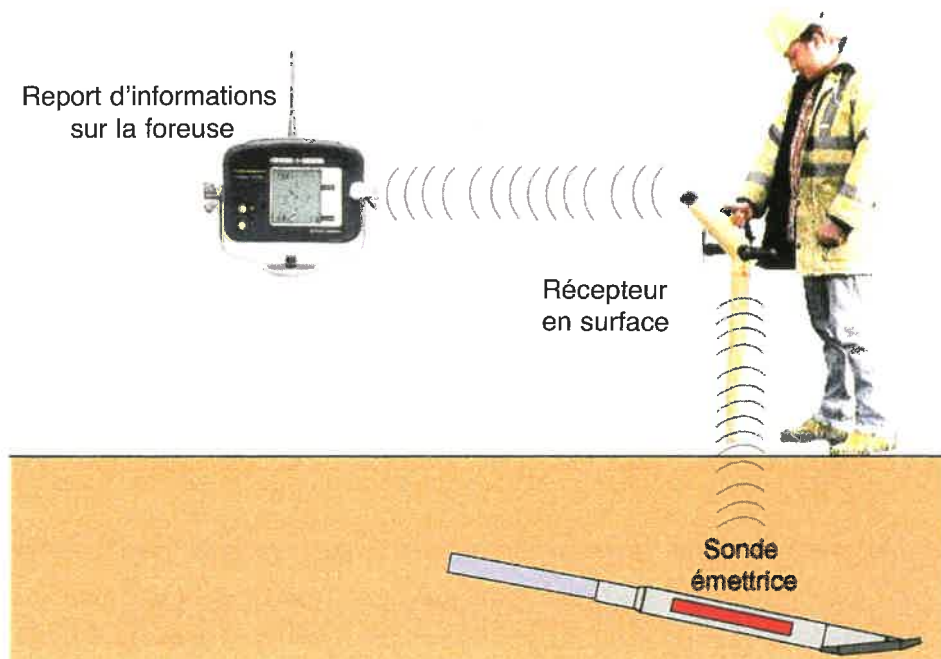
Si le diamètre final est important, ou si le terrain traversé est dur, plusieurs alésages successifs de diamètres croissants seront nécessaires.

Lors du dernier alésage la canalisation sera attachée derrière l'alésoir et tractée jusqu'au point d'entrée.

Détection et guidage du forage

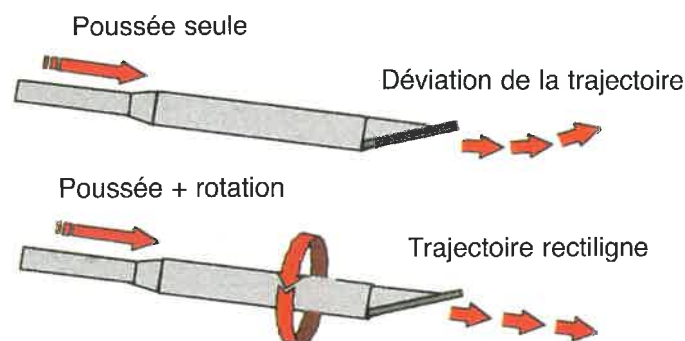
La tête de forage est équipée d'une sonde émettrice qui va communiquer en permanence à un récepteur sa position, sa profondeur, avec une précision de quelques centimètres, ainsi que son inclinaison et sa position horaire.

La transmission de ces informations est généralement assurée par ondes électromagnétiques.



La partie antérieure de la tête n'étant pas symétrique il va être possible de modifier sa trajectoire en exerçant une poussée sans rotation du train de tiges.

Dès que la modification de cap souhaitée sera obtenue il suffira de reprendre la rotation pour que la trajectoire redevienne rectiligne.



Selon les constructeurs il peut exister différents modèles de sondes en fonction de:

- Leur portée (5, 10, 15, 20, 30 mètres).
- Leur précision ($\pm 5\%$ pour la profondeur ; 0,1% à 1% pour la pente).
- Leur autonomie: de 10 à 40 heures selon le nombre et le type de piles.

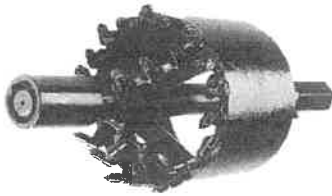
Outils

En fonction de la nature, de la dureté et de l'abrasivité des terrains différents types d'outils vont pouvoir être montés sur la foreuse:

- Tête de forage avec bec d'usure pour les terrains meubles.
- Tête de forage avec pics au carbure de tungstène pour les terrains durs
- Moteur à rocher à entraînement hydraulique ou mécanique équipé d'un trépan.
- Marteau "fond de trou" animé par un compresseur pour les roches très dures.
-

Il existe également de nombreux types d'aléseurs, parmi lesquels:

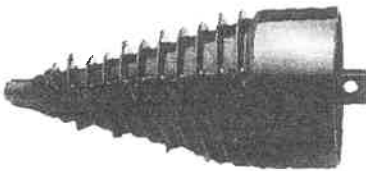
- Aléseurs à ailettes



Leurs dents découpent les matériaux en copeaux et les mélangent au liquide de forage. L'espace entre les ailettes et la couronne extérieure permet ensuite à la boue obtenue d'être évacuée facilement vers l'arrière.

Ils sont recommandés pour les matériaux homogènes: argile, sable compact.

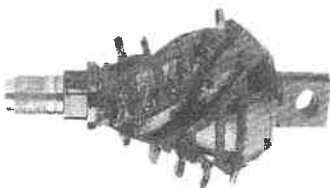
- Aléseurs à spirales compactants



Particulièrement adaptés aux sols hétérogènes car leurs spirales permettent d'évacuer les cailloux et les graviers en les comprimant vers l'extérieur.

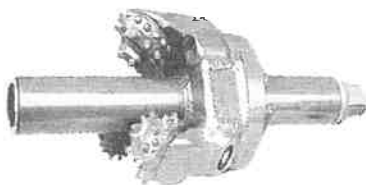
En grand diamètre et dans des sols collants leur large surface de contact peut induire des frottements importants, et ralentir leur progression.

- Aléseurs à goujures



Solution intermédiaire entre les deux modèles précédents, ce sont les aléseurs les plus polyvalents. En effet, leur forme conique hélicoïdale leur permet de compacter, tandis que leurs pics, les nombreux gicleurs et les goujures assurent le mélange de la boue et son évacuation vers l'arrière.

- Aléseurs à rocher



Ils sont équipés de molettes acier ou au carbure selon la dureté de la roche.

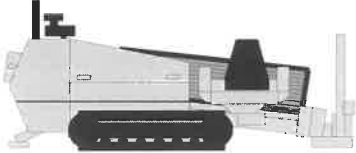
Dans les roches abrasives le corps de l'aléseur et les molettes sont protégés par des inserts au carbure de tungstène. De gros gicleurs facilitent le transport des déblais.

8 - Performances des foreuses dirigées

Les performances des forages dirigés dépendent de multiples facteurs, en particulier:

- Caractéristiques de la foreuse
 - Force de traction
 - Couple
 - Capacité de la pompe à boue
- Nature du terrain
- Stratigraphie
- Rayon de courbure
- Régularité du profil
- Nature de la canalisation

Le tableau ci-dessous donne une idée des diamètres et des longueurs que l'on peut atteindre dans des conditions favorables. Il s'agit de performances maximales qui ne sont pas cumulables. Le diamètre est celui du forage, soit 1,5 fois celui de la canalisation.

Force de traction (tonnes)	Diamètre maxi (mm)	Longueur maxi (m)
3 	200	100
7 	300	150
12 	400	200
15 	500	250
20 	700	400
40 	1.000	600

9 - Forage dans le rocher

A partir d'une certaine taille (12 tonnes de traction) et sous réserve d'être équipées des outils et des équipements adaptés, les foreuses dirigées peuvent travailler dans la roche.

Ce type de chantier nécessite néanmoins une préparation et un savoir faire technique pointu.

Par ailleurs les vitesses d'avancement sont beaucoup plus basses et un chantier de 100 mètres dans une roche dure peut prendre plusieurs semaines, ce qui justifie des prix au mètre sans commune mesure avec un chantier de forage classique.

- Etudes préliminaires

Le terme "roche" est en soi totalement insuffisant pour envisager un forage dans le rocher et une étude de sol sérieuse est indispensable afin de s'assurer de sa faisabilité, de déterminer les équipements à mettre en œuvre ainsi que sa durée et son coût :

- Etude géologique de la nature des formations à traverser, de l'épaisseur des couches et de leur pendage.
- Prélèvements et analyse d'échantillons de roche en laboratoire afin d'en mesurer la dureté (résistance à la compression simple en Mpa) et l'abrasivité.

- Contraintes spécifiques au forage dans le rocher

Le forage dans la roche implique trois types de contraintes:

- Pour le forage pilote:

Les machines disposent d'un couple plus que suffisant pour entraîner un outil dans la roche. La difficulté va donc être ici moins de forer que de diriger la trajectoire.

Selon la dureté des terrains elles vont pouvoir recevoir:

- . Une tête de forage équipée de pics au carbure.
- . Un outil à entraînement mécanique équipé d'un trépan.
- . Un moteur à boue équipé d'un trépan.
- . Un marteau "fond de trou" équipé d'un taillant.

- Pour l'alésage:

Un couple important va être nécessaire pour élargir le trou réalisé et le diamètre foré sera limité par le couple de la foreuse. Dans une roche dure, une foreuse de moins de 15 tonnes de traction ne pourra guère espérer forer un trou de plus de 350 mm.

- Pour l'ensemble des opérations:

Il va falloir un débit de boue plus important que lors d'un forage classique.

En effet, la roche n'étant pas compressible, la totalité des déblais résultant de la désagrégation de la roche (les "cuttings") va devoir être évacuée par la boue de forage.

Ce sont les caractéristiques de cette boue, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, qui vont déterminer pour une large part la réussite du forage.

Il conviendra donc d'en surveiller la bonne circulation et d'en vérifier régulièrement les différents paramètres (Volume, pH, viscosité, teneur en sable, densité...).

Par ailleurs, l'examen de cette boue au niveau de la fosse de retour fournira de précieuses informations sur la nature du sous-sol rencontré.

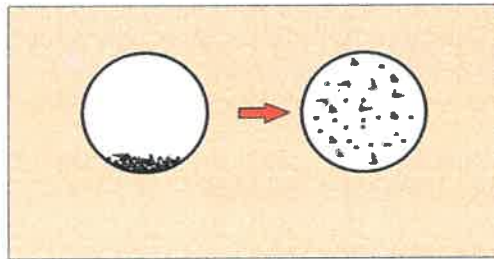
Selon le diamètre final du forage il pourra être nécessaire de prévoir l'utilisation d'un déssableur pour recycler la boue, voire d'une pompe supplémentaire autonome pour obtenir le débit nécessaire.

10 - Les fluides de forage

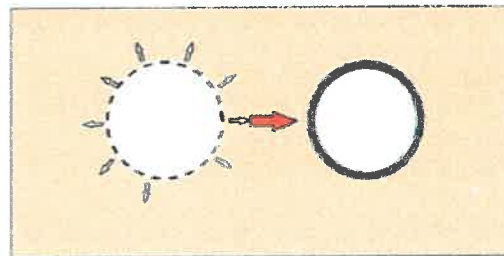
Les fluides de forage jouent un rôle primordial dans un forage dirigé, tant par leur quantité que par leur comportement, et c'est le plus souvent d'eux que va dépendre sa réussite.

Ils remplissent en effet plusieurs fonctions essentielles:

- Lubrifier et faciliter le forage en réduisant les frottements et en améliorant la vitesse de pénétration de l'outil.
- Maintenir les déblais (les "cuttings") en suspension, les évacuer vers l'extérieur et nettoyer le tunnel



- Consolider le tunnel réalisé, améliorer sa stabilité, limiter les pertes d'eau en comblant les interstices. Le chemisage ainsi réalisé est appelé "cake". Il doit être à la fois étanche, résistant et le plus fin possible.



- Eviter le cavage et les resserrements des parois du tunnel en équilibrant la pression hydrostatique des liquides contenus dans le sol traversé.
- Refroidir les outils, en particulier la tête de forage et la sonde de détection.
- Participer au forage par la pression du jet de boue (30 à 150 bars). C'est le "jetting".
- Renseigner le foreur sur la nature des terrains traversés.
- Entraîner un moteur à boue.

Un très grand nombre de produits peuvent entrer dans la composition des fluides de forage, les plus courants étant de loin un mélange d'eau et de bentonite.

Les bentonites sont des argiles colloïdales sodiques caractérisées par la structure en feuillets de leurs éléments (analogue à un jeu de cartes). Ces feuillets, chargés électriquement, se désolidarisent, se dispersent au contact de l'eau et forment un "gel".

Les bentonites peuvent être associées à des additifs, qui vont pouvoir remédier à des problèmes spécifiques liés à certains sols, tels que:

Argiles collantes ou gonflantes.

Mise en suspension et transport des déblais dans le rocher

Stabilité du tunnel dans les sables et les graviers.

Les plus répandus sont les polymères qui, outre leur aptitude à augmenter la viscosité présentent chacun des propriétés physico-chimiques particulières. Il en existe de nombreux types, naturels ou de synthèse



Comité Français pour les Travaux Sans Tranchée

4, rue des Beaumonts - 94120 Fontenay/Bois

Tél : 01 53 99 90 20 - Fax 01 53 99 90 29

www.fstt.org - E-mail : fsttparis@aol.com