

Mini et microtunneliers

par **François MAQUENNEHAN**

Diplômé de l'École des ingénieurs de la Ville de Paris

Service Ingénierie de la SAGEP (Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris)

1. Généralités	C 5 572 - 2
2. Mode de réalisation et de creusement	— 2
2.1 Principe de réalisation.....	— 3
2.2 Matériel de forage	— 3
2.3 Matériaux mis en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage.....	— 5
2.4 Réaction sol-tuyau.....	— 5
2.5 Marinage	— 6
3. Injections de coulis	— 7
3.1 Injections de traitement de sols	— 7
3.2 Injections de non-collage.....	— 7
3.3 Injections de blocage du vide annulaire.....	— 7
4. Limites d'utilisation de la technique	— 7
4.1 Longueurs	— 7
4.2 Profondeur	— 8
5. Applications	— 8
6. Conclusion	— 8
Pour en savoir plus	Doc. C 5 572

La mise en place de réseaux enterrés, en sites urbains ou en franchissement d'obstacles naturels ou artificiels, sont des problèmes qui se posent de plus en plus aux ingénieurs. La solution n'est pas toujours très simple compte-tenu des contraintes environnementales.

La plupart du temps, les réseaux de fluides sont installés en site propre, c'est-à-dire que chaque réseau est posé de manière isolée en terre ou en aérien pour ne pas interférer avec les autres réseaux.

Des expériences furent réalisées pour permettre la réduction des coûts de maintenance, en faisant cohabiter plusieurs réseaux dans un même ouvrage. La première fut réalisée dans Paris, où le réseau d'égout construit progressivement depuis 1860 a été dimensionné non seulement pour être visitable afin d'en permettre la maintenance mais encore pour recevoir les conduites d'eau alimentant les abonnés. Ces égouts ont été aussi utilisés ensuite par d'autres concessionnaires de service public chargés de mettre en place des réseaux de téléphone ou de transport d'informations par air comprimé (transport des pneumatiques).

Aujourd'hui, à l'exception des services assurant le transport d'eau sous toutes ses formes (eau potable, non potable, eau réfrigérée), cette cohabitation est devenue très difficile sous l'effet des contraintes inhérentes au personnel de maintenance des matériels, conduisant les concessionnaires à chercher une certaine indépendance en installant leurs ouvrages dans un profil indépendant.

Les réseaux enterrés, nécessaires à la desserte des usagers, se sont densifiés progressivement et ont des emprises souterraines de plus en plus importantes, jusqu'à saturation du sous-sol sur les premiers mètres de profondeur.

Parmi les différents procédés de construction récents, l'emploi de **mini et de microtunneliers** est une solution permettant de réaliser un **ouvrage souterrain non visitable, sans tranchée, dans tous les types de sol, à des profondeurs allant de 2 à 20 m, avec une bonne précision d'implantation, en contournant les ouvrages existants**. Seuls les puits provisoires d'accès, relativement écartés, révèlent l'existence du chantier.

Par ailleurs, les décideurs politiques attachent de plus en plus d'importance aux procédés de construction des réseaux souterrains sans tranchées car les terrassements importants génèrent des nuisances de moins en moins tolérées par le public et la collectivité locale qui en supportent les coûts sociaux. Ces nuisances difficilement chiffrables ont de nombreux impacts. Il s'agit entre autre :

- de problèmes de circulation des piétons entraînant la déviation des circuits de surface et l'accroissement de risques d'accidents corporels ;
- de problèmes de circulation des véhicules entraînant des embouteillages et des dévoiements de la circulation ;
- de problèmes de nuisance sonore qui, pour des mini ou microtunneliers est localisée aux emprises réduites de chantier ;
- de problèmes de pollution atmosphérique par moteur thermique (le minitunnelier utilise l'énergie électrique).

Cette technique est aussi applicable en dehors des zones urbanisées pour le franchissement d'obstacles divers, tels que :

- les rivières et voies navigables ;
- les voies ferrées ;
- les autoroutes, voies rapides, pistes d'aéroports ;
- les sites industriels : usines d'incinération, usines EDF et GDF, sites nucléaires...

1. Généralités

Les tunneliers classiques de grand diamètre, à attaque globale, progressent dans le terrain sous l'action de vérins de poussée disposés à l'abri du bouclier entre la tête de forage et les anneaux de soutènement fixés mis en place successivement au fur et à mesure de l'avancement.

Au contraire, pour les tunneliers de petit diamètre, mini ou micro-tunneliers (diamètres intérieurs à 1 800 mm), la tête de forage (ou tête de coupe) et son bouclier sont poussés vers l'avant par le train de tubes formant un soutènement glissant dont l'avancement est obtenu par des vérins installés à poste fixe dans le puits d'attaque (figure 1).

Il existe aujourd'hui une distinction entre le minitunnelier et le microtunnelier.

Le **minitunnelier** permet de réaliser un ouvrage circulaire en excavant le terrain par creusement à l'avancement et marinage mécanique. Les tunnels ont des **diamètres compris entre 1 200 et 1 800 mm**.

Le **microtunnelier** est un minitunnelier utilisant le marinage hydraulique et ne nécessitant pas d'intervention humaine dans le tunnel en phase de creusement. Les tunnels ont des **diamètres compris entre 400 et 1 600 mm**.

Cette distinction pourrait être supprimée au fil du temps de manière à ne former qu'une seule famille, celle des microtunneliers.

Les procédés de construction de petits diamètres (< 400 mm) par forage horizontal dirigé ne sont pas décrits dans cet article.

2. Mode de réalisation et de creusement

Le projet d'implantation du tunnel et des puits est réalisé en prenant en compte les facteurs suivants :

- les vérifications géologiques et l'homogénéité des terrains ;
- le type de terrain rencontré qui définit le type de machine à utiliser ;
- le type de matériau de l'ouvrage à réaliser ;
- la détermination du système de marinage ;
- les types d'injections à réaliser ;
- les distances possibles entre puits ;
- la vérification des niveaux haut et bas de la nappe d'eau ;
- les contraintes environnementales qui sont :
 - les ouvrages des services et des concessionnaires déjà implantés dans le sous-sol,
 - les circulations de surface (piétons et véhicules),
 - les activités industrielles et commerciales autour du site des travaux,
 - la concertation avec les responsables politiques et associatifs,
 - les autorisations administratives,
 - la pollution éventuelle des nappes,
 - la pollution éventuelle des sols.

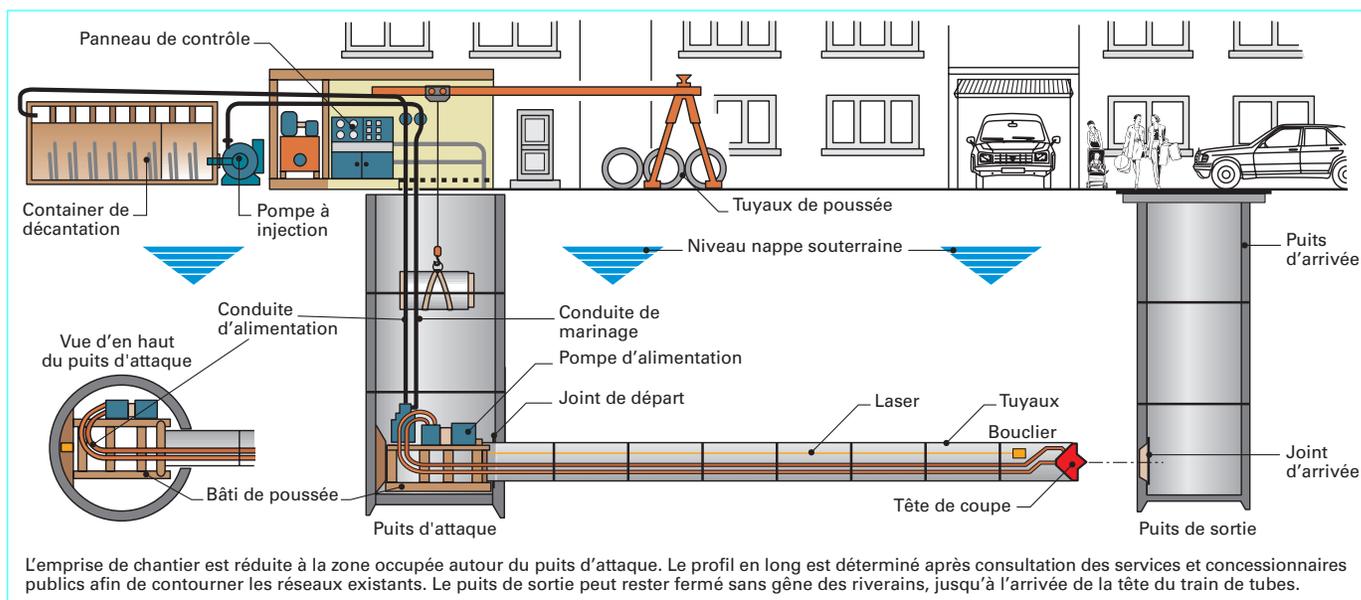


Figure 1 – Organisation d'un chantier de microtunnelier en site urbain

2.1 Principe de réalisation

2.1.1 Tunnels

Les « tirs ou drives » sont le plus souvent horizontaux. Il est possible cependant de réaliser des profils en long inclinés montant ou descendant avec des inclinaisons allant jusqu'à 10 %. En plan, les drives sont rectilignes et limités en longueur suivant le diamètre à réaliser. Un puits d'attaque et un puits de sortie du tunnelier sont réalisés à chaque extrémité du drive.

Il existe une possibilité de réaliser des courbes à rayon constant sur de courtes distances en fin de drive.

Le matériel de terrassement, de forme circulaire, comporte les éléments suivants :

- une tête de coupe ou une chambre d'abattage (figure 2) ;
- une motorisation électrique ou hydraulique ;
- un concasseur ou une machine d'abattage (figure 2) ;
- les vérins permettant d'orienter la partie mobile ;
- la cible visée par laser ou par un simple théodolite ;
- un tube guide fixé derrière la partie orientable ;
- les conduits hydrauliques pour le marinage des déblais ou un tapis avec benne et locotracteur pour un marinage mécanique.

Ce matériel est situé en tête d'un train de tubes glissant, allongé par tronçons successifs au fur et à mesure de l'avancement. Ce train constitue l'ouvrage définitif à réaliser, au même titre que les anneaux de voussoirs utilisés dans les grands tunneliers.

Le train est poussé par l'arrière à l'aide de vérins installés dans le puits de travail. Chaque vérin a une force de poussée unitaire de l'ordre de 300 t. Le nombre de vérins installés est fonction du diamètre du tunnelier.

2.1.2 Puits de travail

La dimension du puits de travail dépend de l'encombrement du matériel, à savoir :

- la dimension du microtunnelier ;

- la dimension du système de vérins de poussée et du massif de réaction ;
- le dispositif de manutention et la longueur des tuyaux, constituant le train de poussage ;
- l'encombrement du système de guidage et de mesures ;
- l'encombrement du système de marinage ;
- l'encombrement de l'accès du personnel.

La dimension du puits de sortie est limitée à la seule taille du tunnelier.

À titre indicatif, le **puits d'attaque** a une longueur minimale (diamètre pour les puits circulaires) de 3,50 m pour des microtunneliers de diamètre inférieur à 800 mm et 5 à 11 m pour des diamètres supérieurs à 800 mm.

Quel que soit le diamètre, le **puits de sortie** est de 3 à 4 m de longueur.

Toutes les techniques classiques sont utilisées pour la réalisation des puits :

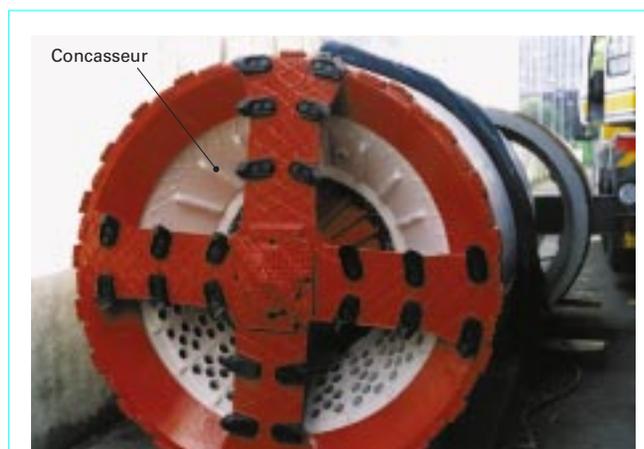
- méthode traditionnelle par blindage bois ou métallique ;
- rideaux de palpeilles ou de palplanches ;
- havage de buses préfabriquées ;
- parois moulées ou *jet grouting* ;
- béton projeté avec ou sans clouage.

Leurs formes peuvent être rondes (figure 3), ovales ou rectangulaires.

2.2 Matériel de forage

Le matériel utilisé est dérivé des machines de creusement des tunnels sous confinement.

Il doit être adapté au terrain rencontré. Les machines disponibles sont monotache. En cas de disparité géologique, il faut prévoir des puits de travail intermédiaires au niveau de ces accidents géologiques pour adapter les outils de la roue de coupe. Les différents types de machines existant pour creuser des tunnels de diamètres compris entre 400 et 1 800 mm sont :



Peut éroder des sols résistant jusqu'à 100 bar. Ci-dessus, état de la machine sortant d'usine. Ci-dessous, état de la machine après 170 m dans un terrain d'alluvions anciennes et ayant rencontré des rognons de silex résistant à plus de 2 000 bar.

La roue de coupe (en rouge) abat le terrain en front de taille. La forme conique derrière la roue agit comme un concasseur afin de réduire et laisser passer par le tamis des particules inférieures à 40 mm de diamètre.



Figure 2 – Tête de microtunnelier adaptée à tous les terrains meubles

– les machines sans confinement : à front ouvert, creusement manuel ou de type Akkerman ;

– les **machines à pression de terre** (constructeurs Herrenknecht et Iseki) qui utilisent le terrain excavé mélangé à de l'**eau enrichie ou non de polymères** (fluide) pour former un « marin » homogène pouvant être évacué du front de taille par voie hydraulique. Le déblai extrait est séparé par tamisage du fluide qui passe ensuite par un décanteur avant d'être réintroduit dans le circuit ;

– les **machines à pression de boue** (constructeurs Herrenknecht et Iseki) qui injectent une **boue à base de bentonite** au front de taille afin de tenir le terrain excavé. Cette boue participe aussi au transport du marin et doit être régénérée avant sa réutilisation ;



Tube poussé — Pompe de circulation

Le marinage est hydraulique (conduites souples de couleur marron entre les conduites rigides situées dans le tube poussé et la pompe de circulation des fluides).

Figure 3 – Puits d'attaque pour une microtunnelier Iseki de diamètre nominal 800 mm

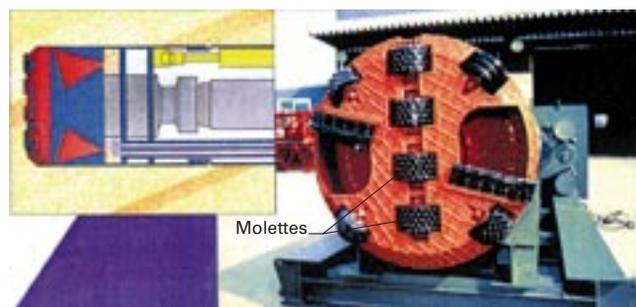


Figure 4 – Tête de microtunnelier avec molettes, adaptées à tous les terrains de roches dures

– les **machines de creusement en roche dure** (constructeurs Herrenknecht et Iseki) dont la tête du microtunnelier est renforcée par l'adjonction de molettes (figure 4) du même type que celles des tunneliers de plus grand diamètre (cf., dans ce traité, l'article *Tunneliers* [C 5 570]).

Marin : déblai humide et pâteux composé du terrain naturel et d'adjuvants chimiques ou non, transportable par voie hydraulique ou par wagonnets.

Le **marinage** est l'évacuation du marin.

Il existe pour les petits diamètres, jusqu'à 600 mm, le **système Decon Soltau** (figure 5) avec évacuation des déblais par vis sans fin étanche. Dans les terrains collants et hydrogonflants, il y a lieu de prévoir des ajouts de polymères pour fluidifier le « marin ».

Les tunneliers sous confinement, à pression de terre ou de boue, utilisent le marinage hydraulique pour contrebalancer la pression d'eau et transporter les matériaux excavés. Ils possèdent devant la machine un cône concasseur qui réduit les blocs importants (jusqu'au tiers de la taille du bouclier) en morceaux suffisamment petits pour être transportés par le circuit de marinage.

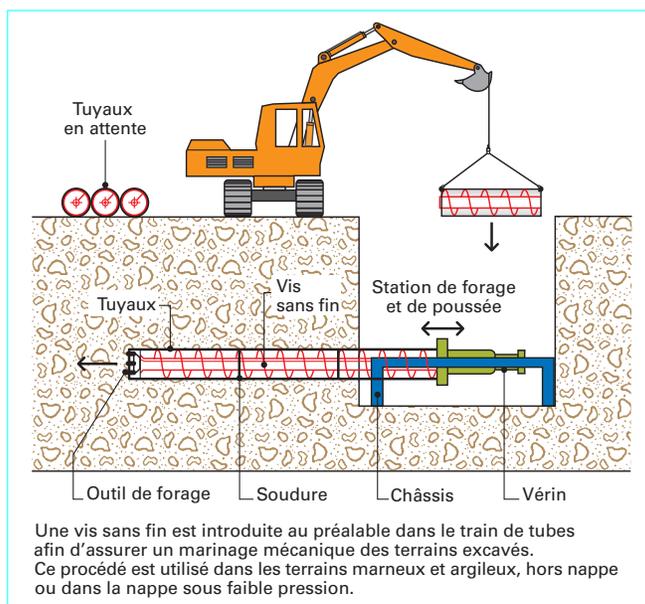


Figure 5 – Procédé Decon Soltau

Le système de concassage comprend un cône extérieur dans lequel tourne un cône inversé auquel sont fixés des bras de coupe qui supportent les outils (système du moulin à poivre). La tête de coupe est animée, suivant la marque de machine, d'un mouvement circulaire (Herrenknecht) ou épicycloïdal (Iseki).

La tête de machine est équipée de dents pour les terrains meubles (résistance à l'écrasement d'éprouvettes < 100 bar) ou de molettes pour les terrains durs.

La forme des fentes entre les dents ou les molettes est fonction de la taille prévisible des granulats à extraire afin de ne pas saturer le pouvoir absorbant de la machine en fonction des quantités de matériaux à extraire.

La poussée exercée sur le microtunnelier provient généralement de la poussée statique appliquée dans le puits de travail sur le dernier élément de tuyau mis en place. Cette poussée pour les diamètres supérieurs à 800 mm peut être relayée par des sous-stations de poussée installées sur le tracé entre deux tuyaux. L'implantation de ces sous-stations est fonction de l'estimation de la force de serrage du terrain rencontré.

La position et l'orientation du microtunnelier sont mesurées en continu, par des systèmes de contrôle installés en surface, et bénéficiant de toutes les évolutions techniques actuelles (automate programmable, visée de cible pour laser, manomètres de contrôle des poussées, vitesse d'avancement, contrôle des volumes de déblais...).

2.3 Matériaux mis en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage

Derrière la machine de creusement, le principal matériau mis en œuvre est le tuyau en béton armé fabriqué avec un béton HP (haute performance). Cette qualité de béton (tableau 1) améliore la résistance à la compression et augmente la possibilité de poussée.

DN intérieur (mm)	DN extérieur (mm)	Longueur utile (mm)	Poids d'un tuyau (kg)	Poussée admissible selon la déviation angulaire limite (kN)	
				0,5°	1°
300	420	1 998	360		1 140
350	535	1 998	660	2 460	2 100
400	535	1 998	520	1 750	1 510
450	640	1 998	840	3 150	2 310
500	640	1 998	650	2 260	1 680
550	750	1 998	1 050	3 830	2 510
600	750	1 998	820	2 740	1 840
650	850	1 998	1 210	4 430	2 660
700	850	1 998	940	3 160	1 950
750	960	1 998	1 440	5 030	3 030
800	960	1 998	1 140	3 660	2 280
900	1 090	1 998	1 520	5 280	
1 250	1 490	3 000	3 480	8 000	
1 400	1 760	3 000	6 400	10 000	
DN diamètre nominal					

D'autres matériaux sont utilisés de façon plus marginale. Ce sont :

- l'acier (qualité X60 – X65) ;
- le grès, pour des tuyaux de diamètre inférieur à 600 mm ;
- le plastique renforcé par du verre (PRV), matériau résistant aux effluents corrosifs, pour des tuyaux de diamètre inférieur à 600 mm.

2.4 Réaction sol-tuyau

Le guidage du train de tube est délicat. L'orientation de la tête du tunnelier doit permettre de maintenir le cap défini tout en compensant les forces engendrées par le poids propre du microtunnelier d'une part et la réaction du terrain sur la tête du microtunnelier d'autre part.

Des déviations angulaires entre les tubes du train sont fréquemment observées engendrant des efforts comprenant une composante axiale et une composante tangentielle augmentant la force de frottement du sol sur le *drive*.

La table de Ripley et Norris (tableau 2) donne les contraintes normales ou tangentielles pouvant être atteintes ponctuellement soit en cas de désalignement des tuyaux, soit en cas de reprise du forage après un arrêt prolongé (phénomène de collage).

La lubrification du contact sol-tuyaux (cf. § 3.2) permet de diminuer considérablement les efforts de poussée.

Tableau 2 – Table de Ripley et Norris. Contraintes normales ou tangentielles maximales

	(t/m ²)	(kPa)
Roche	0,2 à 0,3	2 à 3
Argile avec éléments rocheux	0,5 à 1,8	5 à 18
Argile raide	0,5 à 2,0	5 à 20
Sable humide	1,0 à 2,0	10 à 20
Limon	0,5 à 2,0	5 à 20
Sable lâche sec	2,5 à 4,5	25 à 45
Remblai	≤ 4,5	≤ 45

2.5 Marinage

2.5.1 Marinage mécanique ou manuel

Les microtunneliers creusant hors nappe d'eau peuvent utiliser un système d'extraction du marin par **vis sans fin**. Dans les terrains argileux ou dans une nappe aquifère, il est cependant possible d'utiliser le système de microtunnelier Decon Soltau par vis sans fin étanche.

Les minitunneliers peuvent utiliser les systèmes d'évacuation du marin par **waggonnets** autotractés ou non, roulant sur des rails, pour des terrains situés hors nappe d'eau ou dans la nappe après traitement de sol depuis la surface.

2.5.2 Marinage hydraulique

Le marinage hydraulique (figure 6) peut être utilisé pour tous les types de terrains, dans ou hors nappe d'eau.

Ce mode de marinage nécessite une implantation de chantier de surface pour réaliser la séparation des matériaux extraits des fluides extérieurs : eau + additifs (bentonite, polymères...).

Le marin est le matériau hétérogène à transporter. Il est constitué du terrain naturel auquel ont été ajoutés des fluides qui, suivant le terrain à extraire, sont viscosifiants ou fluidifiants de manière à constituer après filtration avec le terrain naturel un *cake*.

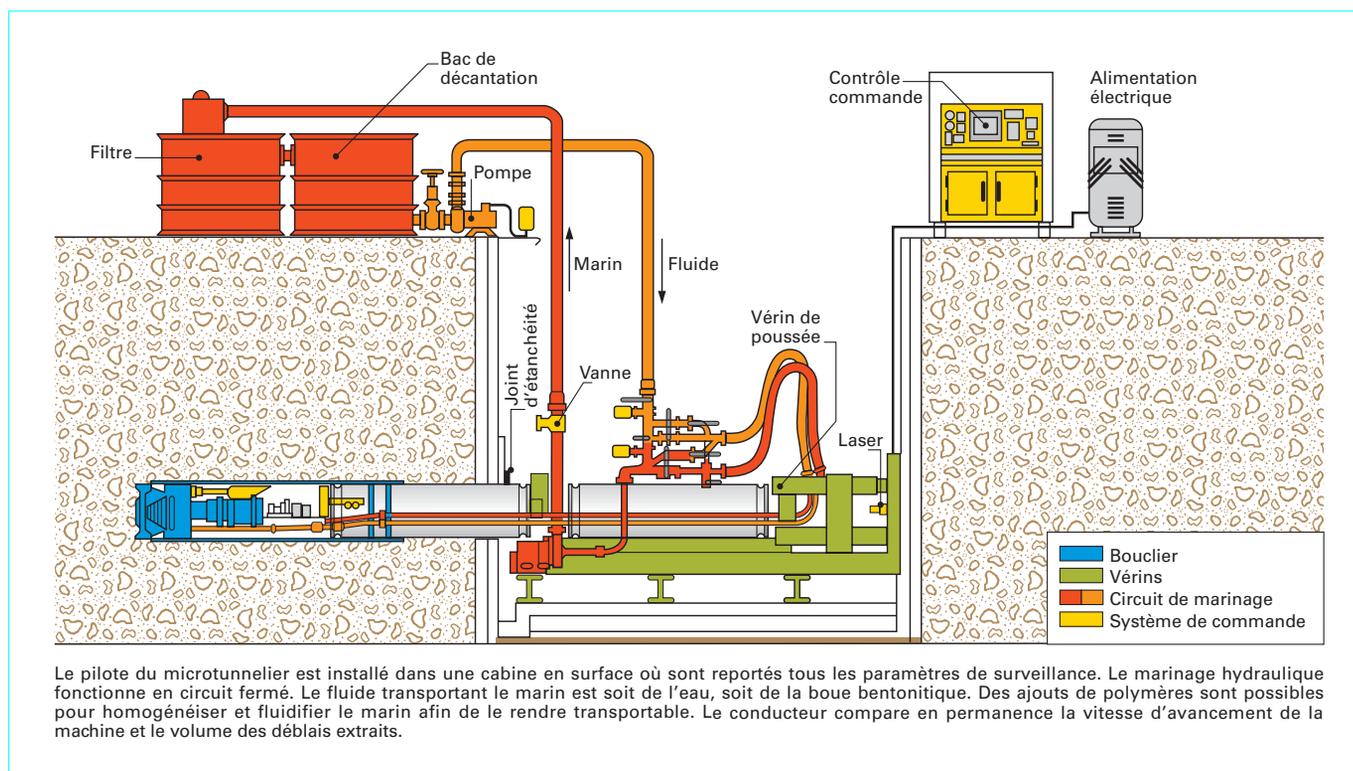
Cake : dépôt compact de particules formé lors de la filtration de la boue à travers un milieu poreux.

Exemple : le transport d'argile est réalisé par l'injection de produits à base de fluidifiants.

Le transport de calcaire altéré est réalisé avec des produits viscosifiants.

Pour chaque chantier, il faut choisir les additifs adéquats pour réussir le marinage des déblais. Ces additifs sont des **coulis** comportant des adjuvants chimiques en fonction de la consistance et de la réactivité des terrains. Cette technique s'apparente à celle des injections de non-collage (§ 3.2).

Les études physico-chimiques des sols permettent la formulation de produits qui, après adjonction, rendent le marin « homogène », c'est-à-dire transportable.


Figure 6 – Système de fonçage par marinage hydraulique avec guidage par rayon laser

3. Injections de coulis

Outre les coulis utilisés pour le marinage (§ 2.5.2), il existe également des coulis destinés à traiter les sols, à lubrifier ou à bloquer le vide annulaire.

3.1 Injections de traitement de sols

Des injections sont réalisées pour **stabiliser les terrains à forte porosité ou diaclasés**, lorsque l'opération est réalisée à l'aide d'un minitunnelier.

Elles sont faites **depuis la surface** sur le tracé de l'ouvrage à réaliser. Les cannes d'injection sont installées selon un calepinage défini d'après le type de terrain. Elles sont peu fréquentes dans le cadre d'un chantier de microtunnelier.

Compte tenu des dimensions des équipements, les **injections à l'avancement** ne sont pas encore réalisées dans le domaine des mini ou microtunneliers.

3.2 Injections de non-collage

Pour **faciliter le glissement du train de tubes dans le sol et réduire la pression de serrage du terrain autour du tuyau**, des injections dites de non-collage sont pratiquées derrière le mini ou microtunnelier.

Elles sont nécessaires dans de nombreux terrains qu'ils soient aquifères ou non aquifères.

La technique, connue depuis 1977 et mise au point au Japon, a été perfectionnée depuis 1990 avec l'adjonction de polymères semi-synthétiques et synthétiques.

Aujourd'hui encore, la mise au point des coulis de lubrification est empirique et étudiée au cas par cas. Une bonne connaissance des terrains à traverser est nécessaire.

Exemple : les terrains argileux sensibles nécessitent une lubrification par des agents antimouillant, les sables érosifs une lubrification par des polymères de synthèse de type acrylamide.

Les entreprises spécialisées dans la chimie des sols peuvent travailler sur les poids moléculaires et les charges (produits non ionique, anionique ou cationiques) des différents polymères de synthèse afin d'adapter les produits d'injection aux natures de sols (figure 7).

La mise au point des coulis est réalisée en cinq étapes :

- le prélèvement d'échantillon du terrain traversé ;
- l'analyse du terrain, la détermination des mélanges et la réalisation de tests de produits en laboratoire ;
- les essais in situ ;
- les corrections dans les mélanges de produits ;
- la surveillance des dosages et des quantités injectées.

Les principaux composants de ces coulis sont :

- l'air ;
- l'eau ;
- des mousses (savon liquide en émulsion) ;
- des polymères : agents organiques hydrosolubles non polluants :
 - polymères naturels : bentonites,
 - semi-synthétiques : viscosifiants et rétenteurs d'eau à base de dérivés cellulosique,
 - synthétiques : produits à base de polyamine et d'acrylamide.



Cet atelier est essentiel pour injecter des produits à différents stades d'avancement du chantier :
 - injection en tête pour modifier la consistance du marin (§ 2.5.3) ;
 - injection derrière la tête pour diminuer les pressions de frottement du train de tubes (§ 3.2).

Figure 7 – Atelier de fabrication et d'injection de polymères

Une lubrification réussie peut abaisser la pression de serrage autour du train de tube, d'un facteur 8.

Exemple : un serrage de sol initial, autour d'un tuyau de diamètre nominal DN 1 400 mm, de 4 t/m², dans un terrain sableux érosif a pu être abaissé à 500 kg/m².

3.3 Injections de blocage du vide annulaire

Lorsque les tunneliers creusent le terrain, un vide annulaire est créé au niveau du front de taille. Dans les petits diamètres, ce vide annulaire est de l'ordre de 2 cm. Ce vide croît en rapport avec le diamètre du tunnelier pour atteindre plus de 5 cm aux grands diamètres.

Des injections de blocage du vide annulaire sont réalisées au-dessus du diamètre 800 mm.

En deçà de ce diamètre, ces injections ne sont pas réalisées, car il est considéré (jusqu'au diamètre 800 mm) que ce vide annulaire ne remet pas en question la stabilité des sols.

Ces injections sont à base de liant hydraulique.

4. Limites d'utilisation de la technique

4.1 Longueurs

Les distances maximales entre deux puits de travail (longueurs d'un *drive*) sont :

- 100 m pour les diamètres entre 400 mm et 800 mm ;
- 200 m pour les diamètres > 800 mm avec des stations de poussées intermédiaires.

À partir d'un certain diamètre (> 1 200 mm), il n'y a pas de limite précise pour la longueur d'un *drive*. Quelques entreprises affirment avoir réalisé des *drives* de plus de 500 m.

La distance maximale entre deux puits est fonction :

- de la limite de poussée admissible par les tubes (tableau 1) ;
- de la pression de serrage du terrain autour du train de tube.

4.2 Profondeur

La limite technique de profondeur des *drives* est fonction de la limite technique de réalisation des puits et de la résistance à l'écrasement des tuyaux poussés sous l'effet des contraintes du sol.

Cette limite est plutôt fixée par l'économie du projet, car au-delà d'une certaine profondeur, le coût unitaire de réalisation du puits d'attaque ou de sortie est un facteur non négligeable dans le bilan global du prix du mètre linéaire de conduite installé.

C'est pourquoi les constructeurs fournissent, en général, un matériel rustique et robuste résistant à une contre-pression admissible en milieu aquifère, limitée à 2 bar (0,2 MPa) pour convenir à la majorité des tracés compris entre 2 et 20 m de profondeur.

5. Applications

Notons la mise en place de nouveaux réseaux.

Réseaux d'eau potable : les réseaux sont généralement sous pression. Les conduites doivent résister à la fois à la réaction des sols, aux efforts de poussée pour la mise en place de la conduite et à la pression du réseau d'eau (pression d'essai = 1,5 pression de service). Le matériau mis en œuvre est généralement en béton armé avec âme tôle.

Réseaux d'assainissements ou de transport d'eau pluviale : les réseaux sont à écoulement gravitaire ou faiblement en charge (< 0,1 MPa). Suivant le fluide transporté, les conduites sont généralement en béton armé et quelquefois en PRV. Elles doivent résister à l'agressivité des effluents transportés, aux réactions des sols traversés et aux efforts de poussée pour la mise en place de la conduite.

Gaines techniques pour des câbles ou conduites : ces ouvrages sont considérés comme des fourreaux non visitables. La précision de leur implantation n'est pas toujours recherchée. Mais il est important pour les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre d'obtenir des plans de récolement précis afin de permettre à d'autres don-

neurs d'ordre de réaliser de nouveaux réseaux dans de bonnes conditions techniques.

6. Conclusion

L'encadré ci-dessous résume la technique du microtunnel.

Usages :

- assainissement ;
- eaux usées ;
- eaux pluviales ;
- eaux potables ;
- gaines pour fluides divers.

Longueur courante d'un tronçon :

- DN < 800 mm, de 30 à 100 m ;
- DN > 800 mm, de 30 à 200 m.

Ouvrages annexes :

- puits de travail avec ou sans massif de réaction, profondeur maximale 20 m ;
- puits transformés en regard.

Guidage :

- laser ;
- théodolite ;
- résonance magnétique.

Besoins en connaissance :

- repérage des ouvrages existants connus (x, y, z) ;
- caractéristiques physiques et mécaniques des sols traversés ;
- présence d'eau.

Les mini et microtunneliers utilisent des techniques dérivées de celles des tunneliers. Ces nouvelles techniques encore récentes, peuvent encore améliorer leurs performances. Les incidents en cours de chantier (serrage du terrain naturel, erreurs de guidage, rencontre d'accidents géologiques, sous-dimensionnement de la résistance des tuyaux, mauvaise connaissance des réseaux existants...) sont encore trop fréquents aujourd'hui. Ils résultent le plus souvent de la sous-estimation de la capacité réactive des terrains traversés. Ils montrent également qu'il faut améliorer la fiabilité des matériels et perfectionner la connaissance des terrains afin d'éviter les problèmes de blocage des *drives*.