

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 112 (1986)
Heft: 11

Artikel: Les réalisations par fonçage hydraulique en ville de Berne
Autor: Würgler, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75989>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les réalisations par fonçage hydraulique en ville de Berne

par Peter Würgler, Berne

1. Avancement par fonçage durant les années 1970 à 1984

La méthode du fonçage hydraulique – ou «pousse-tube» – est connue dans l'agglomération bernoise depuis le début des années 60.

Ce n'est cependant que depuis 1966 environ qu'elle est utilisée à grande échelle. Les réalisations mentionnées ci-dessous datent des quinze dernières années.

Le tableau 1 récapitule les travaux de «pousse-tube» exécutés dans la ville de Berne durant cette période au moyen de tubes en béton armé.

On constate que les diamètres qui n'ont pas été retenus par les auteurs de la norme SIA (diamètres 800, 1400 et 1650 mm) n'ont été que très peu utilisés. Le diamètre 2400 mm est en fait un tuyau de 2500 mm dont les parois ont été renforcées de 50 mm pour des raisons statiques (hauteur de couverture, longueur des tronçons de fonçage). En regroupant les différents diamètres en quatre catégories principales, on obtient la répartition mentionnée par le tableau 2.

Ces 12900 m d'avancement se répartissent en 124 tronçons dont la longueur moyenne est de 104 m. Le tronçon le plus court a 18 m, le plus long 235 m.

La réalisation d'une section carrée de 1200 × 1200 mm se limite, à notre connaissance, à un tronçon unique d'une longueur de 7 m.

Le tableau 3 indique quels ont été les maîtres de l'ouvrage dans le cas de ces réalisations par fonçage.

Les montants de travaux indiqués incluent la réalisation des cellules, l'avancement par fonçage, les déplacements de conduites existantes, les prospections géologiques, et les honoraires d'ingénieurs. On constate donc que le maître de l'ouvrage d'un pousse-tube est en règle générale, à Berne, une collectivité publique.

Durant les années 1970 à 1984, 58 contrats d'entreprise ont été signés avec des en-

treprises de «pousse-tube». Parmi ces contrats, 57 ont été confiés à des entreprises de la région de Berne ou de Thoune. Le montant moyen des contrats est de Fr. 600 000.–, le montant le plus faible a été de Fr. 25 000.– et le plus élevé a atteint environ Fr. 4 200 000.–. En ce qui concerne l'affectation de ces travaux, on précisera que 12070 m concernent des canalisations, 669 m des galeries techniques et 165 m des passages pour piétons. Du fait que ces domaines de constructions sont relativement indépendants de la conjoncture, il a paru intéressant d'examiner comment les montants des travaux ont évolué au fil des années, permettant ainsi de déterminer si un éventuel point de saturation était atteint (fig. 1).

Illustrons encore par quelques chiffres comment se répartissent, selon notre expérience, les coûts d'un pousse-tube dans des conditions «moyennes»:

1. Acquisitions de terrains et servitudes	25 000.–
2. Travaux de construction:	
2a. Construction des cellules et avancement	700 000.–
2b. Travaux divers	40 000.–
3. Déplacement de conduites	60 000.–
4. Imprévus	50 000.–
5. Prospection géologique	40 000.–
6. Honoraires d'ingénieurs	85 000.–
Total	1 000 000.–

2. Elaboration du projet

Durant les quinze dernières années, la ville de Berne a exécuté des travaux de fonçage hydraulique pour un montant d'environ 33 millions de francs. Parmi ces travaux, le service du génie civil a établi lui-même le projet et assuré la direction des travaux d'un tiers des ouvrages, alors que pour les deux tiers

TABLEAU 2: Travaux de fonçage hydraulique 1970-1984.

Diamètre	Longueurs exécutées	
Très petits diamètres, Ø 800 à 1000 mm	720 m	5,6%
Petits diamètres, Ø 1250 à 1650 mm	8261 m ¹	64,0%
Diamètres moyens, Ø 1800 à 2200 mm	1688 m	13,1%
Grands diamètres, Ø 2400 à 2750 mm	2235 m	17,3%
Total	12 904 m ¹	100,0%

TABLEAU 3: Travaux de fonçage hydraulique 1970-1984.

Maître de l'ouvrage	Coût de réalisation
Office de génie civil de la ville de Berne	32 827 000.–
Office de génie civil de la commune de Köniz	6 350 000.–
Service cantonal des autoroutes	1 675 000.–
Service publics: EWB, GWB	1 574 000.–
Administrations fédérales	1 061 000.–
Privés	127 000.–
Total	43 515 000.–

TABLEAU 1: Travaux de fonçage hydraulique 1970-1984.

Diamètre nominal	Longueur cumulée des tronçons exécutés
mm	m ¹
800	18
1000	702
1250	4 408
1400	136
1500	3 641
1650	76
1800	756
2000	474
2200	458
2400	675
2500	984
2750	576
Total	12 904

des réalisations, des bureaux d'ingénieurs privés ont été mandatés. La figure 2 indique le système adopté généralement avec succès pour l'organisation du projet.

Il convient de relever deux points importants:

- il est avantageux de confier l'élaboration du dossier de soumission, la direction des travaux et l'interprétation des sondages au géologue, en collaboration avec l'ingénieur. Celui-ci est en effet spécialiste dans ce domaine et cette manière de faire lui permet d'être constamment tenu au courant de l'avancement des travaux de sondage;
- dans le cas d'un pousse-tube, certains travaux spéciaux dépendent de l'avancement et doivent souvent être effectués avec les mêmes installations et engins que les travaux d'avancement. Il arrive également qu'ils se répètent périodiquement. Pour ces raisons, il est judicieux de mettre en soumission la totalité des travaux en un seul lot, et, dans le cas de travaux complémentaires, de demander une offre complémentaire à l'entrepreneur principal.

Considérons maintenant les particularités de la méthode du pousse-tube du point de vue du maître de l'ouvrage durant les phases successives de l'élaboration du projet.

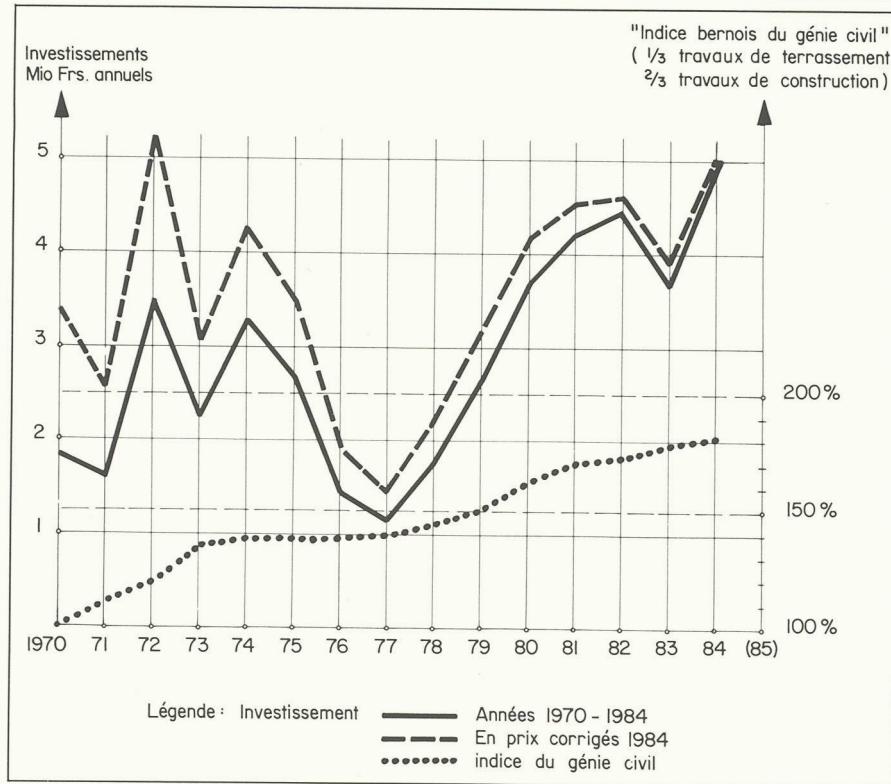


Fig. 1. — Investissements annuels.

La norme SIA 103, édition 1984, décrit, pour toutes les activités liées à la construction, quelles décisions le maître de l'ouvrage doit prendre, et à quel moment, et quelles prestations doivent être fournies par l'ingénieur. Pour la clarté de l'exposé, nous regrouperons les dix séries de prestations envisagées en trois étapes principales et nous ajouterons à ces trois

étapes de réalisation celle de l'exploitation qui est, pour le maître de l'ouvrage, l'étape la plus importante:

Conception :

- Travail préparatoire.
- Etude préliminaire.
- Avant-projet.

Projet :

- Projet définitif.

Exécution :

- Appel d'offres et comparaison des offres.
- Projet d'exécution.
- Direction générale des travaux.
- Direction locale des travaux.
- Dossier de l'ouvrage exécuté.
- Surveillance des travaux de garantie.

Exploitation :

- Surveillance.
- Entretien.
- Réfections.

2.1 Conception

Parfois, le maître de l'ouvrage s'efforce de réaliser cette étape avec son propre personnel. Dans les cas délicats, cependant, il est nécessaire, déjà à ce stade, de s'assurer la collaboration de spécialistes. Dans tous les cas, les études préliminaires et l'étude de variantes ainsi que le devis estimatif ne peuvent être fiables et complets que lorsque l'auteur de l'étude est suffisamment familiarisé avec les méthodes de construction actuelles. Au niveau du choix des méthodes, on peut envisager la méthode du pousse-tube lorsque l'un ou plusieurs des critères suivants sont vérifiés :

- topographie: la profondeur de l'ouvrage impose une exécution en souterrain;
- situation: l'exécution en pousse-tube permet un tracé plus court que la fouille ouverte;
- voies de communication, réseaux de conduites existantes: l'infrastructure existante est favorable à une exécution en pousse-tube ou impose celle-ci;
- nuisances: en zone urbanisée, le pousse-tube présente des avantages par rapport à l'exécution en fouille ouverte en ce qui concerne le bruit, la poussière et les dérangements;
- durée des travaux: une exécution en pousse-tube peut être plus rapide qu'une exécution en fouille ouverte;
- coût: pour les raisons évoquées précédemment, une exécution en pousse-tube peut être meilleur marché que d'autres méthodes d'exécution. Cette méthode est également envisagée parfois malgré un coût supérieur lorsque certaines conditions locales (proximité d'un hôpital ou d'une école, etc.) rendent impossible l'exécution en fouille ouverte pour des raisons de nuisance.

2.2 Projet

Après achèvement de l'étape de conception, le tracé est défini et, selon les cas, la méthode de construction également. C'est alors le moment de s'assurer la collaboration de spécialistes (ingénieurs civils, géologues) et de compléter les

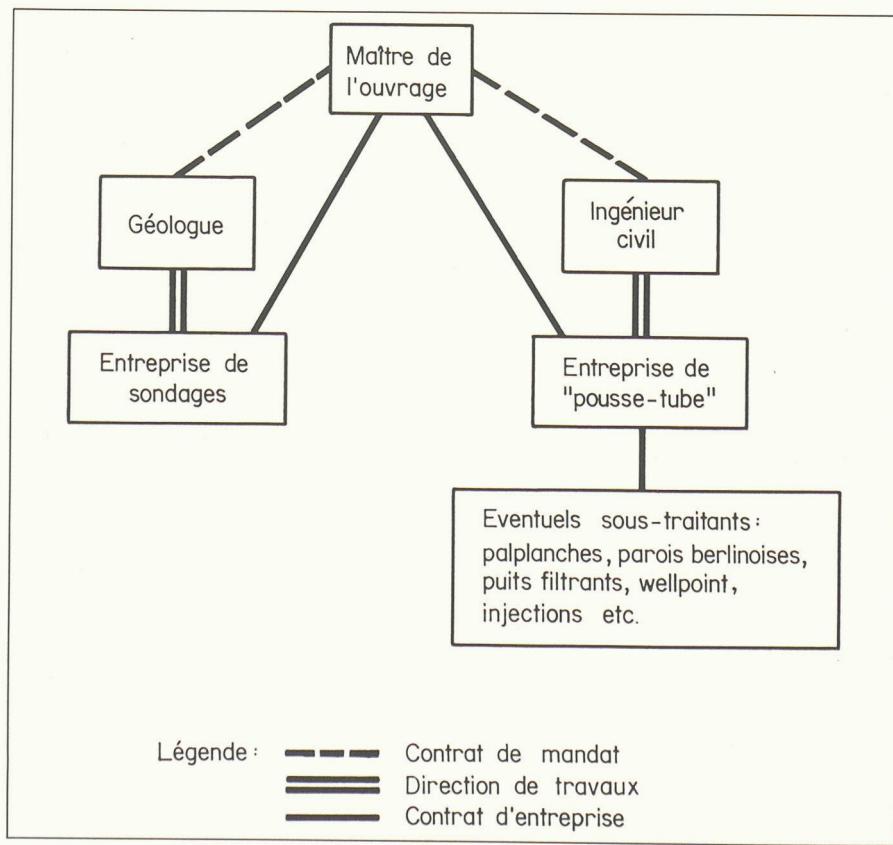


Fig. 2. — Organisation du projet.

documents de base (plans, cadastre des conduites existantes, géologie).

La tâche de l'ingénieur est de définir le tracé du pousse-tube en plan et en profil en long, compte tenu des conditions locales (bâtiments, voies de communication, conduites existantes, nature des sols et conditions hydrologiques). Il doit conseiller au maître de l'ouvrage de faire appel à un géologue lorsque les données disponibles sont insuffisantes. Il propose au maître de l'ouvrage l'établissement de constats des bâtiments exposés ainsi que des réseaux de conduites et des voies de communication.

Les risques courus par les ouvrages existants peuvent bien sûr provenir des travaux d'exécution des cellules ou de l'avancement, mais également des travaux d'injection ou de rabattement de nappe.

Le maître de l'ouvrage doit obtenir les autorisations nécessaires, par exemple :

- approbation du projet par les autorités compétentes du canton ou de la Confédération;
- droits de passage dans les parcelles privées ou publiques;
- autorisation de rabattement de nappes (généralement du ressort de l'administration cantonale);
- exécution de travaux à proximité de gazoducs à haute pression;
- déversement de canalisations dans des cours d'eau (propriétaires des cours d'eau et service de la protection des eaux);
- éventuelles autorisations de construire, conformément à la législation cantonale.

2.3 Exécution

L'ingénieur a pour tâche, lors de la mise en soumission, d'établir un descriptif précis, des conditions claires et des plans. Après entente avec le maître de l'ouvrage, les bâtiments et voies de communication exposés font l'objet d'un constat écrit avant l'ouverture du chantier en présence du propriétaire concerné. Les travaux de protection des conduites qui devront être croisées doivent être discutés avec les services concernés. Des nivellements de contrôle doivent être entrepris avant le début des travaux; ils servent alors de mesure initiale pour déceler d'éventuels tassements de chaussée ou de bâtiments.

Des mesures du niveau de la nappe phréatique, du débit des captages existants et des sources exploitées doivent également être effectuées avant le début des travaux et le rabattement de la nappe. Bien que les tâches de l'ingénieur soient décrites dans la nouvelle norme 195, il convient de relever qu'aucune norme ne peut remplacer l'expérience. La construction en pousse-tube est une méthode de travail en souterrain; une direction de travaux sans expérience est démunie face à la nature (conditions géotechniques) et face à l'entrepreneur.

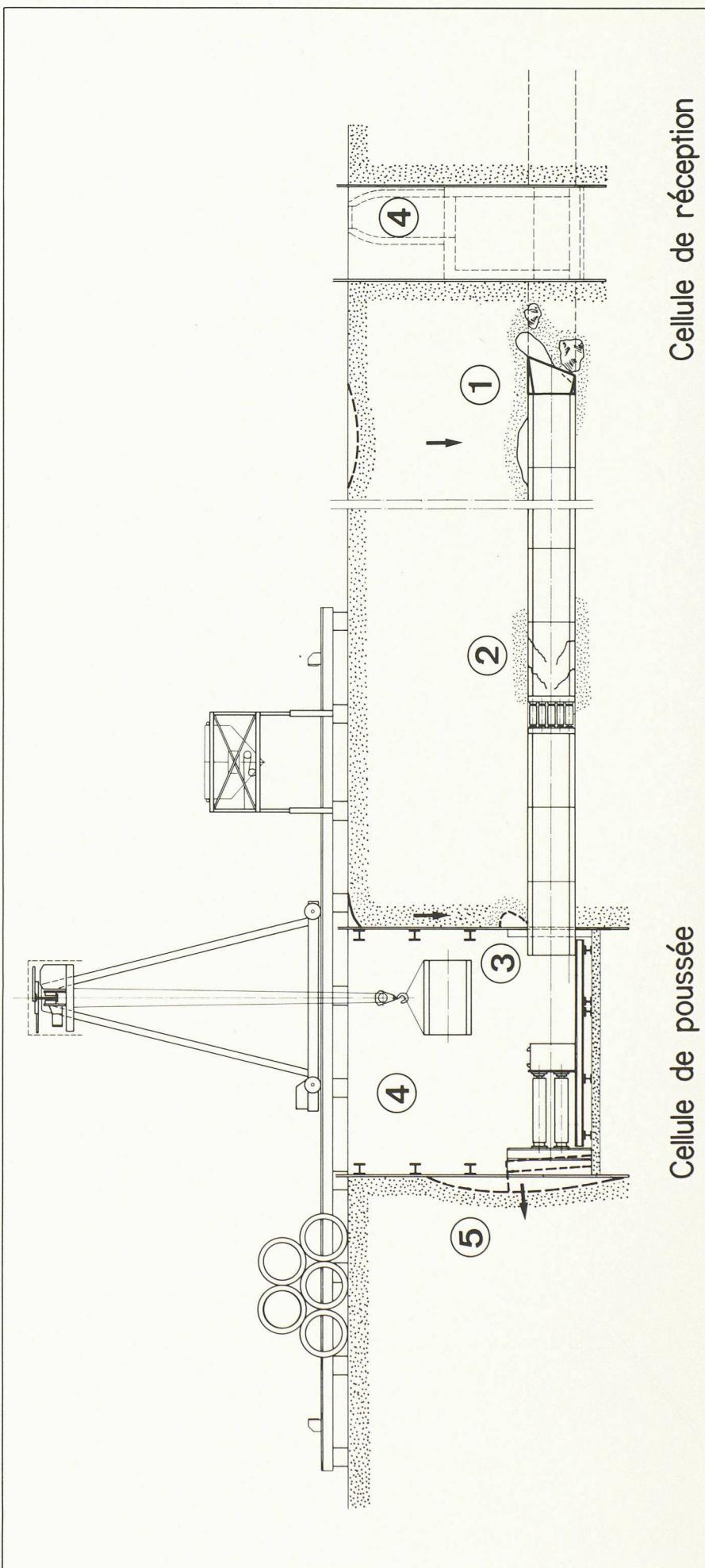


Fig. 3. — Difficultés rencontrées lors de l'avancement en pousse-tube : au front, le long du tronçon, dans les stations de poussée, à l'attaque du tronçon, dans les cellules, au niveau du massif d'appui.

Cellule de poussée

Cellule de réception

Fig. 4. – Difficultés rencontrées lors de l'avancement en pousse-tube : rabattement de nappe, injections.

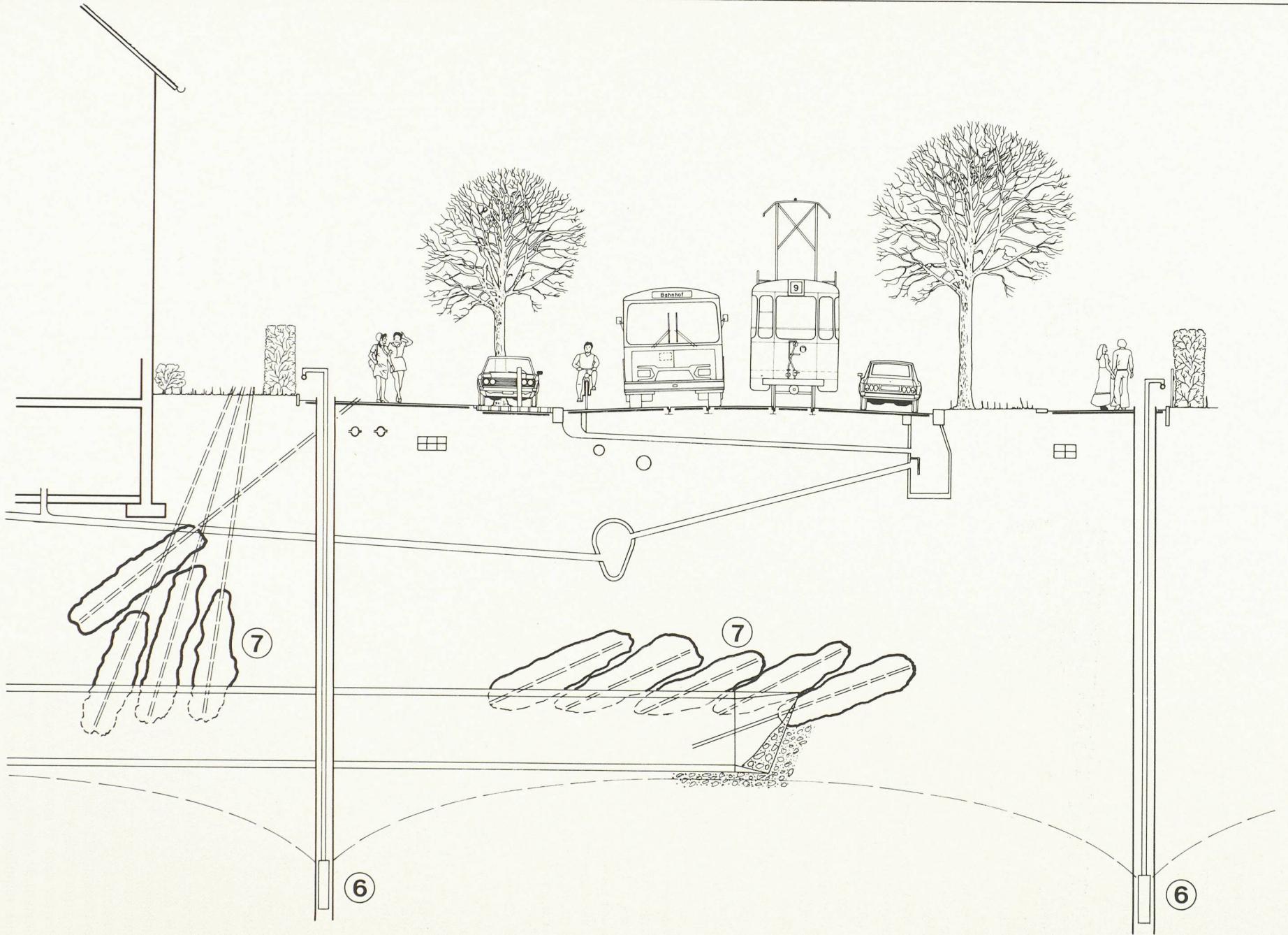


TABLEAU 4: Difficultés rencontrées fréquemment dans les travaux de «pousse-tube».

Lieu	Origine	Conséquences, dégâts	Remèdes
Au front de taille (fig. 3: ①)	Eboulements dus à la présence de matériaux boulants et à l'extraction de blocs erratiques. Franchissement d'obstacles au périmètre de l'excavation ou au niveau des plates-formes intermédiaires. Présence de matériaux fluents sous la nappe.	Vides, hors-profil → tassements Dégâts au bouclier et aux plates-formes intermédiaires → immobilisation, risque d'éboulement. Erosion du terrain → tassements.	Injections depuis le front de taille ou la surface du terrain. Installation de plates-formes intermédiaires. Eviter les poussées excessives, injections. Dispositions appropriées de rabattement de nappe, injections, ou avancement sous air comprimé.
Tronçon de fonçage, station principale ou intermédiaire ②	Augmentation excessive des poussées en raison du frottement ou d'une résistance au niveau du bouclier. Répartition inadéquate des poussées des vérins sur les éléments. Distribution dissymétrique des contraintes dans la section de l'élément et ouverture du joint à l'extérieur de la courbe lors des corrections de trajectoire.	Fissuration des éléments, éventuelle rupture; détérioration des joints. Fissuration des éléments, fissuration à proximité des joints. Infiltrations d'eau et pénétration de boue au niveau des joints.	Disposition judicieuse des stations intermédiaires de poussée. Utilisation d'un bouclier de guidage équipé de vérins. Injections de lubrification sur toute la longueur du tronçon. Corrections progressives de trajectoire.
Attaque du tronçon ③	Eboulement de matériaux peu stables. Mauvais contact entre le blindage de la cellule et les éléments.	Vides, hors-profil → tassements.	Injections. Construction d'un fronton en bois ou en béton.
Cellules ④	Compactage insuffisant des matériaux de remblayage. Tassements inévitables lors de la réalisation de cellules de grande profondeur. Décompression du terrain lors de l'arrachage ou de la démolition du blindage.	Compactage → tassement différé.	Mise en place et compactage des matériaux par couches. Dans la mesure du possible éviter la mise en place de nouvelles canalisations et conduites dans la zone des cellules.
Massif d'appui ⑤	Poussées excessives par rapport au sol d'appui.	Poinçonnement du terrain (notamment dans les argiles ou les «glaises» sous la nappe). Déformations du blindage de la cellule et du massif d'appui.	Prévoir des surfaces d'appui suffisantes. Eviter les poussées trop élevées. Prévoir un rabattement de nappe ou une consolidation dans la zone du massif d'appui.
Rabattement de nappe (fig. 4 ⑥)	Drainage des sols susceptibles de tasser (tourbe, craie lacustre, etc.). Erosion du terrain (entraînement de particules fines). Abaissement général de la nappe phréatique.	Tassements. Tarissemement de sources ou captages → indemnisations.	Dimensionnement adéquat du dispositif de rabattements (nombre et conception des puits). Limitation de l'étendue du rabattement par des injections ou d'autres dispositions constructives. Restitution des débits pompés.
Injections ⑦	Les injections ne traitent que les niveaux les plus perméables. Perforation de canalisations ou conduites.	Pénétration du coulis dans les canalisations et les caves. Risque de blocage du tronçon en cours de fonçage.	Limitation de la pression d'injection. Contrôle régulier des conduites et canalisations. Pas d'injection de coulis de ciment pur à proximité du tronçon en cours de fonçage.

Conférence prononcée à Biel, le 23 octobre 1984, dans le cadre de la journée d'étude consacrée aux travaux de fonçage hydraulique organisée par le Groupe des travaux souterrains de la SIA en collaboration avec la Société suisse de mécanique des sols et des roches (SSMSR).

Il appartient au maître de l'ouvrage de régler les points suivants:

- définition de délais d'exécution raisonnables (début et fin des travaux);
- adjudication des travaux;
- signature des contrats;
- contrôle de ce que le maître de l'ouvrage, l'ingénieur et l'entrepreneur sont couverts par des assurances adéquates.

Après réception de l'ouvrage, les bâtiments et les routes ayant fait l'objet d'un constat font à nouveau l'objet d'une visite. On rappellera que des dégâts consécutifs à des tassements peuvent encore se produire deux à cinq ans après l'achèvement des travaux.

2.4 Exploitation

Une construction doit être érigée de manière à ce qu'elle puisse être utilisée en toute sécurité et que son exploitation puisse être envisagée à long terme avec un minimum de frais d'entretien. A cette fin, le contact entre le maître de l'ouvrage et l'ingénieur doit intervenir dès l'établissement du projet. Il y a lieu de tenir compte des points suivants:

- sécurité des accès par les cheminées de visite. Pour les canalisations, on doit envisager des cheminées au moins tous les 200 m. Les échelles et plates-formes doivent répondre aux exigences de la CNA;
- selon les exigences du maître de l'ouvrage, on prévoira à des intervalles déterminés des cheminées permettant l'accès du matériel pour des transformations ou des réparations;
- selon la destination de l'ouvrage, celui-ci sera aéré ou ventilé;
- dans les canalisations, il faut envisager, selon le diamètre du tuyau, un revêtement du radier et un trottoir latéral de viste;
- selon les besoins, on prévoira des raccordements électriques, téléphoniques ou au réseau de distribution de l'eau.

3. Les particularités de l'avancement

La méthode du pousse-tube est une méthode de travail en souterrain et se distingue donc fondamentalement des méthodes d'exécution en fouille ouverte. Les problèmes sont alors principalement liés à l'avancement lui-même et en particulier au front de taille. L'hétérogénéité des conditions géotechniques rencontrées en Suisse fait que – même dans le cas d'une prospection approfondie du sous-sol et d'un projet très soigneusement établi – on n'élimine pas tout risque de surprise. Lorsqu'on a affaire, tant du côté de la direction des travaux que de celui de l'entreprise, à une équipe expéri-

mentée, de telles difficultés sont rapidement décelées, ce qui permet d'y remédier de manière adéquate. Le manque d'expérience et le diagnostic tardif des dangers, par exemple d'une déviation par rapport à l'axe théorique, peuvent conduire à de graves difficultés.

Le tableau 4 et les figures 3 et 4 donnent un résumé des difficultés susceptibles d'intervenir dans la réalisation d'un pousse-tube ainsi que des remèdes envisageables. Il convient de relever que ces documents ne sont pas exhaustifs.

Que peut donc faire un maître de l'ouvrage pour qu'un pousse-tube soit non seulement une solution économique, au niveau de l'étude, mais également au niveau du décompte final?

Fort de l'idée que «qui planifie consciencieusement dort plus tranquillement», trois décisions s'imposent:

- premièrement, mandater un ingénieur civil compétent;
- deuxièmement, procéder à une reconnaissance sérieuse des conditions géotechniques, et,
- troisièmement, confier les travaux à une entreprise expérimentée dans les travaux de pousse-tube.

Adresse de l'auteur:

Peter Würgler, ing. dipl. EPFZ
Adjoint, Direction des travaux
de la ville de Berne
Case postale 2731, 3001 Berne

Traduction:

Michel Odier, ing. civil EPFZ-SIA,
Géotechnique appliquée P. et C. Dériaz,
rue Blavignac 10, 1227 Carouge

Industrie et technique

Transbordeurs sur la Manche propulsés par des moteurs Sulzer

La SNCF et Townsend Thoresen ont tous deux choisi d'équiper de moteurs Diesel semi-rapides Sulzer leurs nouveaux transbordeurs exploités sur la Manche. Le ferry commandé par la SNCF aux chantiers navals de Dunkerque de la société Normed sera propulsé par des moteurs ju-

melés ZA 40 16 cylindres construits par CCM-Sulzer, Mantes (France). Ils développeront une puissance totale de 19 560 kW (26 600 ch) à 580 tr/min. Les deux grands ferry-boats (vitesse de service 20 nœuds) seront construits par Schichau Unterweser AG, Bremerhaven (RFA), pour le compte de Townsend Thoresen; ils disposeront chacun de trois hélices entraînées par trois moteurs Diesel ZA 40S 14 cylindres de CCM-Sulzer, dé-

veloppant une puissance totale de 23 170 kW (31 500 ch) à 510 tr/min. Les hélices marines à pales orientables seront livrées par Sulzer-Escher Wyss, Ravensburg (RFA). Ces navires de 20 000 t de port en lourd seront les plus grands transbordeurs jamais mis en service sur la Manche. Ils disposeront d'une capacité de 2400 voyageurs et de 700 voitures de tourisme et desserviront la ligne Douvres-Calais-Douvres. En fait, ces deux navires seront équipés d'installations complètes de moteurs Diesel Sulzer. Dans chacun d'eux, le courant électrique sera généré par quatre moteurs Diesel AT 25 Sulzer 8 cylindres d'une puissance unitaire de 1590 kW (2160 ch) à 1000 tr/min.

Grâce à ces commandes, le nombre de moteurs Diesel ZA 40 et ZA 40S propulsant de gros transbordeurs est passé à 20 l'année dernière; les autres unités étaient destinées à Anders Jahre et à North Sea Ferries.

Protection contre les dangers de l'informatique

La société norvégienne est hautement dépendante de l'informatique et des données qu'elle traite. Un grand nombre de fonctions capitales peuvent s'y trouver paralysées en cas de coupure de courant, d'autres dégâts ou de

sabotage. Une commission ad hoc a étudié la vulnérabilité de la société norvégienne à ces menaces; elle vient de remettre son rapport au Ministère de la consommation et de l'administration.

Le rapport est établi sur la base d'un questionnaire distribué à un grand nombre de sociétés privées et d'institutions publiques. Il expose la situation telle qu'elle est actuellement et fait quelques suggestions en vue de pallier les risques les plus graves.

Relevons parmi les suggestions les mesures spécifiques aptes à assurer la protection contre les risques de l'informatique tant dans l'industrie que dans le secteur public. On instituerait un «comité officiel de la vulnérabilité», comprenant 10 membres. Ce comité aurait à élaborer un «crypto-service» officiel en vue de transmettre des messages chiffrés. Cela aiderait les entreprises industrielles à empêcher l'espionnage industriel et le sabotage.

Autres suggestions: établir un plan d'urgence aussi bien dans le secteur privé que dans le secteur public. Le comité recommande également l'établissement d'un plan d'action en vue de mieux protéger les banques de données publiques qui jouent un rôle important pour le fonctionnement de la société tout entière.



L'un des deux nouveaux ferry-boats commandés par Townsend Thoresen et prévus pour la desserte Douvres-Calais-Douvres a inspiré un artiste.