

# Le tunnel du Hagenholz

Autor(en): **Andraskay, Ede**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 21

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73986>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

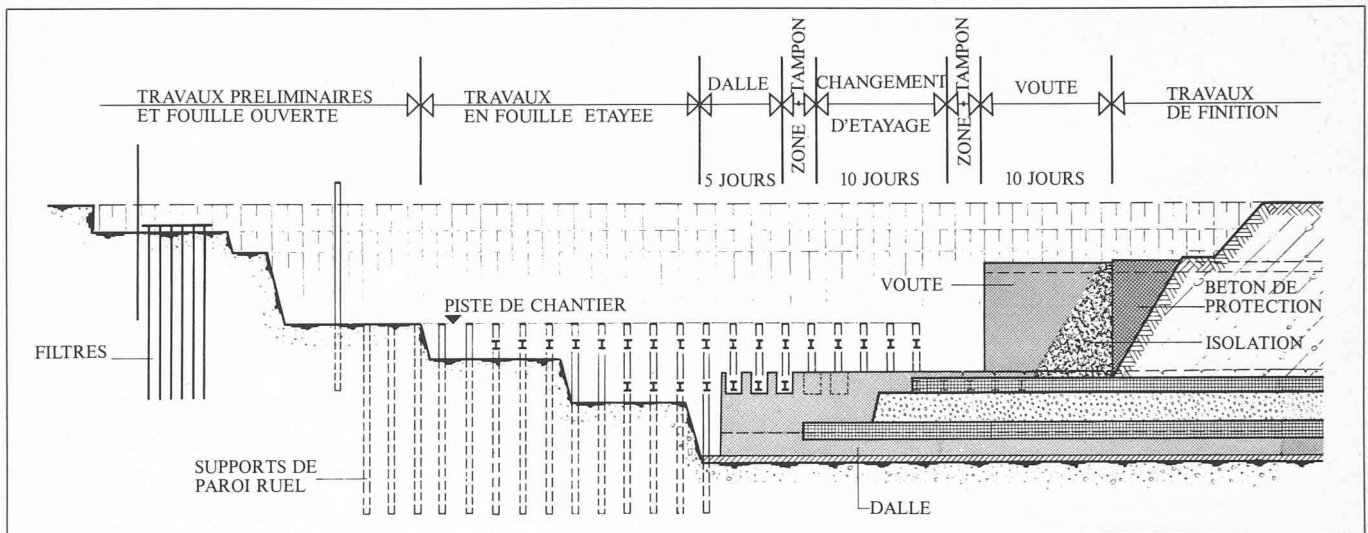


Fig. 6. — Schéma longitudinal des phases de travail.

conditions, on creusa d'abord une tranchée préliminaire d'environ 6 m de profondeur dans l'axe de la ligne. Depuis ce niveau, on creusa ensuite la fouille du tunnel, assurée par des parois « Rühl » pourvues d'un étayage. Les travaux furent exécutés selon une cadence programmée, qui permit de respecter les contraintes (fig. 4-6). Les couches superficielles du terrain, au-dessus des limons argileux, furent asséchées au moyen de filtres Wellpoint.

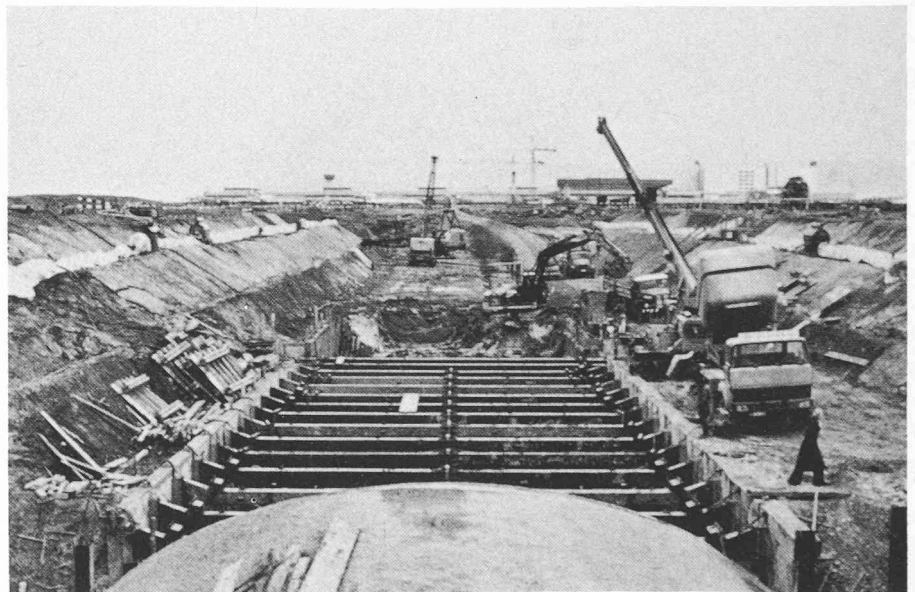


Fig. 4. — Lot nord. Vue d'ensemble de la fouille.

Adresse de l'auteur:

Jakob Hasenfratz  
Ingénieur diplômé  
Directeur  
de l'entreprise Locher & Cie SA  
Pelikanplatz 5, 8001 Zurich

## Le tunnel du Hagenholz

par Ede Andraskay, Zurich

La partie orientale de la ligne de l'aéroport, entre la gare souterraine et le point de jonction avec l'ancienne ligne de Kloten, comprend le tunnel du Hagenholz, d'une longueur de 2,8 km, et un tronçon à ciel ouvert de 600 m. Construit selon la méthode du bouclier, le tunnel constitue un des ouvrages majeurs de la nouvelle ligne. Il passe sous trois collines (Butzenbüel, Holberg et Hagenholz) à une profondeur variant entre 30 et 45 m, sauf sous la tranchée de l'autoroute et sous l'ancienne ligne CFF de Kloten, où l'épaisseur du terrain couvrant la voûte n'est que de 8,5 et 12 m respectivement. D'ouest en est, le tunnel s'élève en rampe régulière de 10,4 pour mille.

### Conditions géologiques et hydrologiques

Le souterrain est situé entièrement dans un terrain meuble surconsolidé, c'est-à-dire compact. Il traverse trois genres de terrains d'origine glaciaire: alluvions, moraines et dépôts lacustres. La couche inférieure de moraine ainsi que les sédiments lacustres sont pour ainsi dire imperméables et présentent une surface accidentée, qui subdivise en plusieurs bassins distincts les alluvions aquifères situés au-dessus. Le niveau de la nappe phréatique domine de 6 à 14 m le radier du tunnel (voir fig. 1).

### Abaissement de la nappe phréatique

Durant le percement des couches aquifères, le principal problème a consisté dans le drainage du terrain. Pour abaisser le niveau de l'eau, il a fallu creuser 22 puits filtrants de 60 ou 90 cm de diamètre extérieur. Certains d'entre eux furent forés à 9 m de l'axe du tunnel; d'autres furent établis dans le terrain perméable au point le plus profond des bassins, parfois à une distance considérable de l'ouvrage (jusqu'à 230 m). La profondeur moyenne des puits fut de 45 m; le plus profond d'entre eux descendit à 65 m de la surface. Durant la phase d'assèchement, les puits débitèrent en moyenne mille litres à la minute. Une fois que le niveau de l'eau fut descendu au-dessous de celui du radier, il a suffi de maintenir en service un nombre restreint de puits, dont le débit varia généralement entre 60 et 200 litres à la minute.

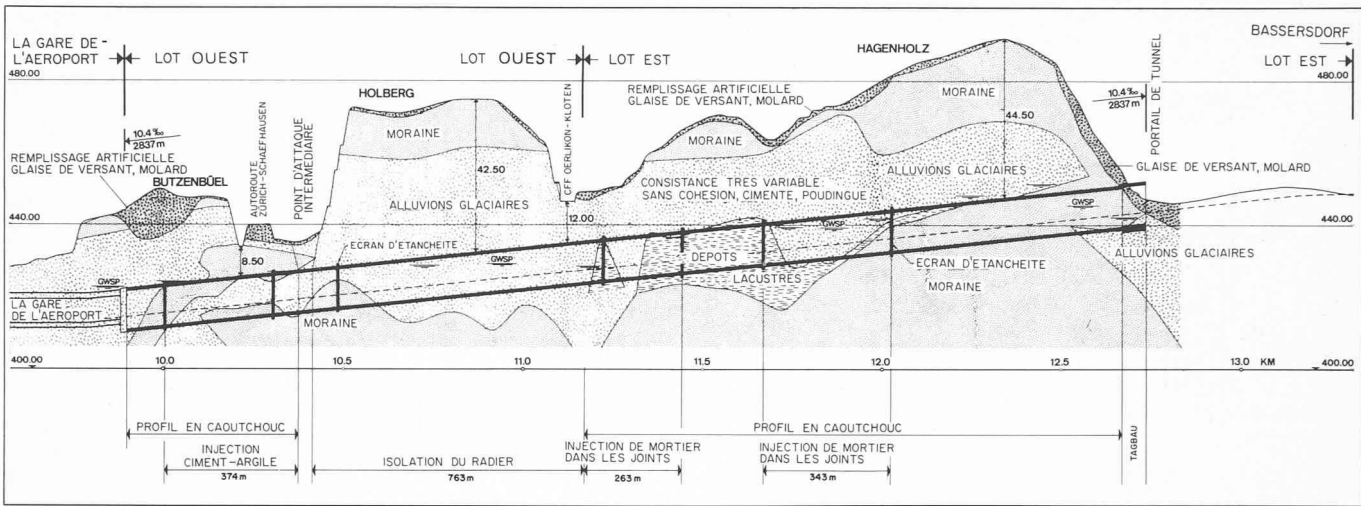


Fig. 1. — Profil géologique longitudinal du tunnel du Hagenholz.

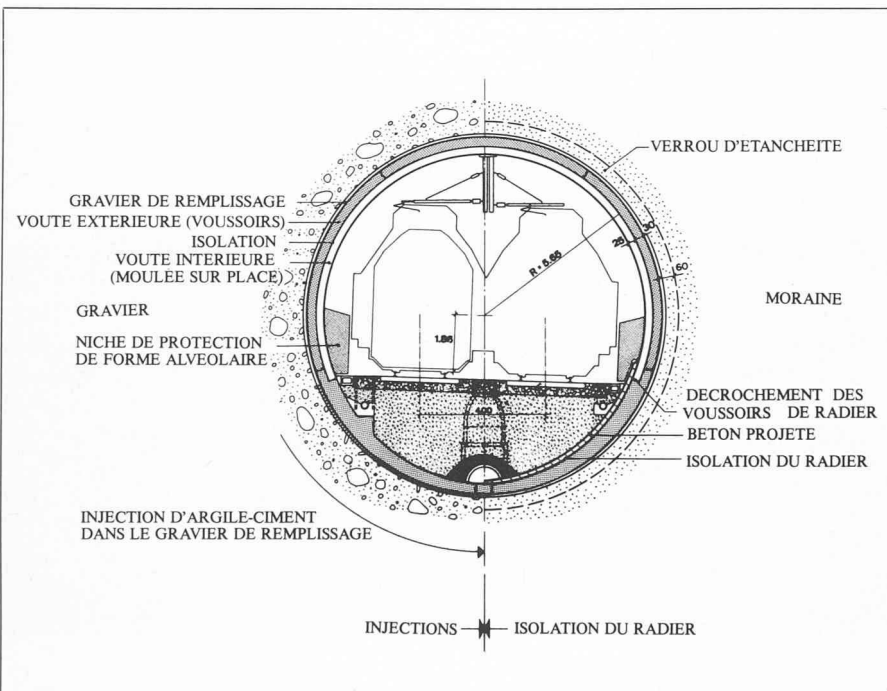


Fig. 2. — Profil normal.

## Mode de construction, profil normal

Eu égard aux conditions topographiques, géologiques et hydrologiques, le choix se porta sur la méthode du bouclier. Comme le tunnel devait passer sous des voies de communication, des bâtiments, des conduites et des réservoirs d'hydrocarbures, les documents de soumission insistèrent particulièrement sur l'étayage du front d'attaque. Par la suite, les couches de terrain meuble rencontrées au cours du percement se révélèrent un peu plus solides que les sondages géologiques n'avaient permis de l'espérer. Néanmoins, la présence d'alluvions sans cohésion sur le front d'attaque prouva nettement le bien-fondé de la méthode de construction choisie, ces éléments meubles pouvant être contenus par l'étayage du bouclier. L'emploi de la méthode du bouclier

implique l'obtention d'une section circulaire, qui fut adoptée comme profil normal (fig. 2). Le seul inconvénient de ce profil, à savoir l'espace inutilisé au-dessous des voies, ne se fit guère sentir au Hagenholz, car les alluvions trouvées sur place convenaient parfaitement comme matériau de remplissage. La section du tunnel a été déterminée d'emblée non seulement d'après le gabarit de libre passage exigé pour les chemins de fer à voie normale, mais encore en prévision d'éventuelles inexactitudes dans l'exécution de l'ouvrage (erreurs dans les mesures topographiques, déviations du bouclier, déformations de la voûte, etc.). Le diamètre extérieur du tube fut ainsi fixé à 11,30 m. La partie extérieure de la voûte est formée de segments préfabriqués en béton armé (fig. 3); ces voussoirs sont assemblés au niveau du bouclier pour former les anneaux successifs dont se compose la voûte extérieure (fig. 4). Le

voussoir qui vient d'être mis en place sert d'appui pour les presses hydrauliques chargées de faire avancer le bouclier. Un enduit isolant élastique, appliqué sur les voussoirs du haut, de 30 cm d'épaisseur, sert d'écran contre l'humidité (fig. 5). Une voûte intérieure bétonnée sur place, non armée, de 25 cm d'épaisseur, retient la poussée des eaux (fig. 6).

## Exécution des travaux

En vue de réduire la durée des travaux, les CFF ont subdivisé le tunnel du Hagenholz en deux lots. Du fait que la construction de la gare et du terminal B était déjà en cours, les vastes installations nécessaires au percement du lot ouest (longueur 1280 m) ne purent trouver place du côté de ces chantiers. Un point d'attaque médian fut dès lors établi près de la tranchée de l'autoroute, au pied du Holberg (fig. 7). Le creusement commença dans le sens descendant, en direction de l'aéroport. La fouille de la gare fut atteinte au bout de 500 m; le bouclier fut alors démonté et ramené au puits d'attaque intermédiaire, pour avancer dans le sens ascendant jusqu'à la limite du lot, sous la tranchée de la ligne de Kloten.

Le lot est comprenait la partie orientale du tunnel 1560 m et 600 m de ligne à ciel ouvert jusqu'au point de jonction avec l'ancienne ligne, à la limite des communes de Kloten et de Bassersdorf. Les 65 premiers mètres du souterrain furent construits à ciel ouvert dans une tranchée creusée au préalable. Cette portion de l'ouvrage servit de culée pour le départ du bouclier, qui progressa dans le sens de la pente jusqu'à la limite du lot. Le creusage prit 22 mois, l'avancement du bouclier étant en moyenne de 3,5 m par jour. Le percement eut lieu avec une avance de cinq mois sur le programme (fig. 8).

L'office cantonal de la protection des eaux et des constructions hydrauliques avait exigé que le régime hydrologique initial soit rétabli après l'achèvement du

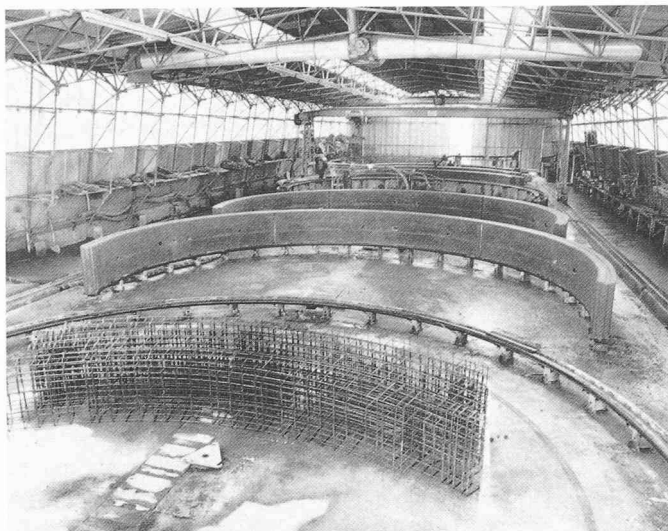


Fig. 3. — Lot ouest. Fabrication des voussoirs en béton près du point d'attaque médian

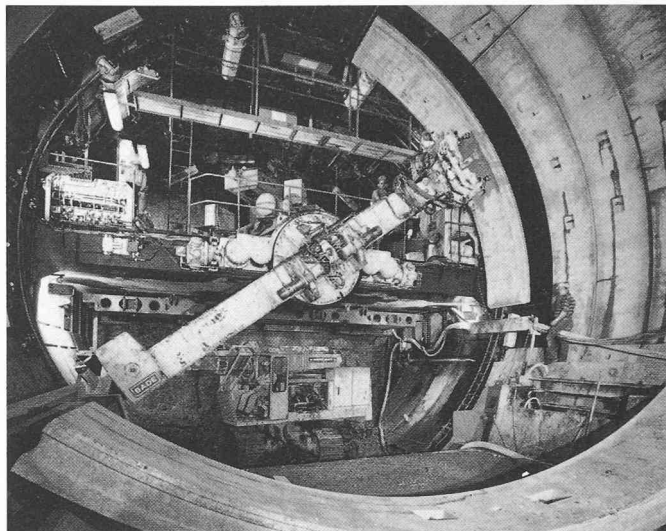


Fig. 4. — Lot est. Mise en place d'un voussoir derrière le bouclier.



Fig. 5. — Lot ouest. Application des feuilles isolantes sur la voûte extérieure



Fig. 6. — Lot est. Portique de cintrage pour le bétonnage de la voûte intérieure, après l'application de l'isolation élastique.

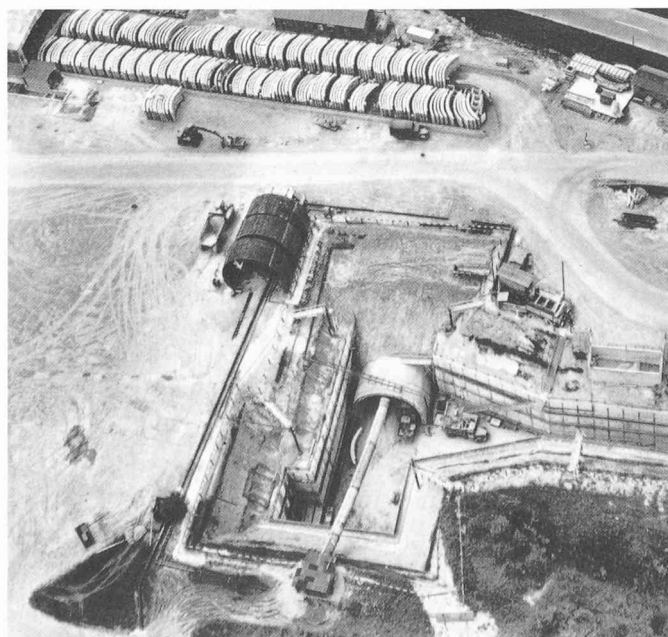


Fig. 7. — Lot ouest. Point d'attaque médian. Le creusement en direction de la gare est en cours. En haut, l'entrepôt des voussoirs.

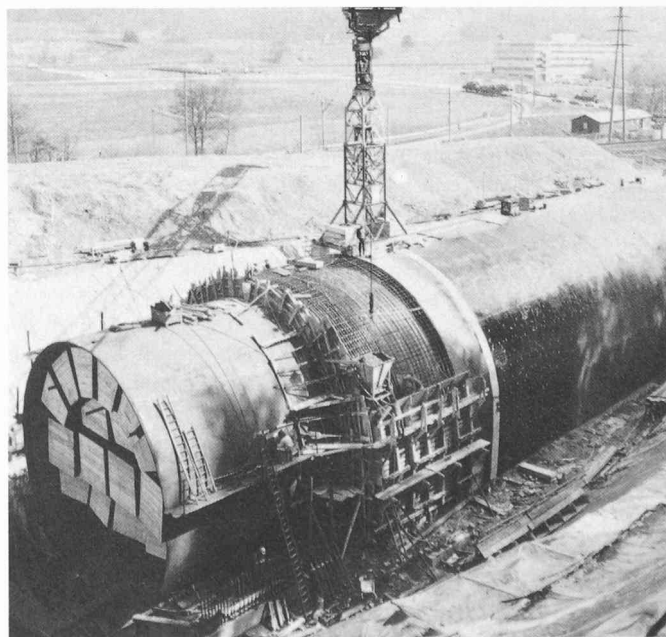


Fig. 8. — Lot est. Partie construite à ciel ouvert. Le bouclier et l'étiayage du front d'attaque sont déjà en place.

tunnel et que tout effet de drainage soit évité. Ces conditions furent déterminantes pour les travaux d'étanchéité. Pour empêcher les eaux de s'écouler le long des parois de l'ouvrage, il a fallu reconstituer les barrières naturelles qui séparaient les différents bassins d'eau souterraine.

En sept endroits, des écrans d'étanchéité furent donc établis dans le matériau imperméable de ces barrières, de la manière que voici: pour chacun d'eux, on pratique tout autour de la voûte extérieure deux fentes concentriques distantes d'environ 10 m, larges de 40 cm et pénétrant jusqu'à 60 cm dans le terrain adjacent. Ces fentes furent ensuite remplies de béton pour former des verrous d'étanchéité. Entre ces deux verrous, il fut dès lors possible d'injecter du ciment dans le gravier fin qui, lors de la progression du bouclier, avait été enfermé dans l'espace vide compris entre les voussoirs et le terrain naturel. Le drainage des eaux le long du tunnel a ainsi été stoppé de façon efficace.

Dans le lot ouest, des feuilles de chloroprène d'une épaisseur d'au moins 1,5 mm ont été utilisées pour l'isolation intérieure du sommet de la voûte. Dans le lot est, une feuille d'hypalon de 1 mm d'épaisseur a servi à cette même fin.

L'infiltration d'une faible quantité d'eau étant tolérée dans la partie basse du tube, les CFF et la direction des travaux décidèrent de réaliser l'étanchéité du radier au moyen de profils en caoutchouc, procédé simple et bon marché.

Les essais de refourniture de la nappe phréatique, exécutés durant les travaux, montrèrent cependant que l'étanchéité des joints entre les voussoirs du radier n'était pas entièrement satisfaisante. Les efforts de poussée exercés lors de l'avancement du bouclier endommageaient les joints, ce qui conduisait à des infiltrations d'eau. Des mesures complémentaires furent donc prises dans les zones d'eaux souterraines. Dans la nappe la plus importante, sous le Holberg (voir fig. 1), le radier fut entièrement isolé au moyen d'une feuille de chloroprène de 2 mm d'épaisseur; une couche de béton de 12 à 16 cm d'épaisseur fut en outre projetée pour contenir la pression de l'eau (voir fig. 2). Dans les autres nappes phréatiques, on étancha par des injections les canaux d'infiltration dans les voussoirs du radier, dont les joints furent colmatés au moyen d'un mortier spécial (lot est). Dans la zone du Butzenbüel (lot ouest, voir fig. 1), on injecta un mélange d'argile, de ciment et d'eau dans le gra-

vier de remplissage compris entre la surface extérieure des voussoirs et le terrain naturel (voir fig. 2).

Ces mesures ont permis de ramener le niveau des eaux souterraines à leur cote initiale. Une isolation continue du radier, telle que la prévoyait le projet général, aurait coûté 4,8 millions de francs de plus. Il apparaît donc que les mesures différenciées, adaptées aux conditions hydrologiques locales, ont permis d'économiser des frais.

Grâce à une coopération fructueuse entre le maître de l'ouvrage, la direction des travaux et les entreprises de construction, le devis établi en 1971 pour le tunnel du Hagenholz, qui se chiffrait à 74,5 millions de francs, a pu être respecté, abstraction faite du renchérissement. En effet, le supplément de 11,8 millions ou 15,8% par rapport à l'estimation initiale provient exclusivement de la hausse des coûts intervenus entre 1972 et 1979.

#### Adresse de l'auteur:

Ede Andraskay  
Ingénieur diplômé EPFZ  
c/o Basler und Hofmann  
Ingenieur und Planer AG  
Forchstrasse 395, 8029 Zurich

## La traversée d'Opfikon

par Peter Zwicky et Gion Letta, Zurich

### Tracé de la ligne

Au lieu de la seule ligne à voie unique Zurich Oerlikon-Kloten, quatre voies traversent aujourd'hui le centre de l'agglomération d'Opfikon, sept mètres plus bas que l'ancien tracé. Deux d'entre elles appartiennent à la ligne de Kloten, mise à double voie, les deux autres étant celles de la ligne de l'aéroport. L'abaissement des voies, dicté par le niveau des tronçons adjacents de la ligne de l'aéroport, a permis accessoirement de supprimer deux passages à niveau très fréquentés.

La tranchée du chemin de fer, d'une longueur de 600 m et d'une largeur de 30 m par endroits, a été recouverte d'une dalle sur un tronçon de 300 m. Exécutés aux frais de la commune d'Opfikon, les travaux ont contribué à la lutte contre le bruit et à l'aménagement urbain du centre de la localité. Dans cette partie recouverte, les voies de la ligne de Kloten s'écartent l'une de l'autre pour faire place au quai de la halte d'Opfikon, qui sera inaugurée le même jour que la ligne de l'aéroport.

Construite elle aussi aux frais de la commune, cette halte sera accessible par le haut, au moyen de deux ascenseurs et de trois escaliers. La ligne de Kloten et celle de l'aéroport sont séparées par une cloison, afin que les voyageurs attendant sur le quai ne soient pas importunés par les courants d'air au passage des trains directs.

Dès la sortie du souterrain, dont elle occupe le côté ouest, la ligne de Kloten aborde une rampe pour accéder au niveau du viaduc de 277 m de long qui traverse la rivière Glatt et la ligne de l'aéroport (voir description au chapitre «Ponts»). Au-delà du viaduc, elle rejoint son tracé primitif, encore à voie unique (fig. 1).

### Aperçu géologique

Au sud de la Glatt, la tranchée traverse deux formations géologiques fondamentalement différentes:

— Entre Oberhauserried et la Schaffhauserstrasse, une mince couche

superficielle faite de remblai, de glaise de versant et de sédiments lacustres recouvre une moraine, qui repose à peu de profondeur sur de la molasse solide.

— Entre la Schaffhauserstrasse et la Glatt, on trouve des terrains meubles non surconsolidés, où dominent des sédiments lacustres à grain fin formés en partie de sable limoneux.

Au nord de la Glatt, une couche superficielle relativement mince, formée d'alluvions de la Glatt, recouvre 6 à 8 m de limon sableux ou graveleux.

### Le projet et son exécution

Les parois moulées qui formaient l'enceinte de la fouille ont été intégrées dans l'ouvrage définitif, dont elles constituent les parois latérales. Ce procédé de construction, plus silencieux que les méthodes classiques, fut appliqué en raison du peu de place disponible entre les maisons voisines; son usage a permis de renoncer à l'abaissement de la nappe phréatique à l'extérieur de la fouille. Il a suffi, en effet, d'évacuer les eaux durant l'excavation de la fouille.

Pour la confection des parois moulées, de profondes tranchées de 50 à 100 cm de largeur furent creusées jusqu'au niveau des fondations. Pour ne pas