

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 130 (2004)
Heft: 15/16: Percer AlpTransit

Artikel: Le forage au moyen de tunneliers: l'exemple du Lötschberg
Autor: Seingre, Gérard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Le forage au moyen de **tunneliers** : l'exemple du Lötschberg

L'idée de forer des tunnels par des moyens mécaniques n'est pas nouvelle. A partir du milieu du XIXe siècle, des brevets ont été déposés pour des machines à creuser des tunnels, mais ce n'est qu'en 1957 que l'ingénieur américain James S. Robbins essaya avec succès un engin efficace, l'ancêtre de tous les tunneliers modernes. L'excavation traditionnelle à l'explosif est une méthode cyclique qui comporte trois phases : creusement, évacuation des matériaux et sécurisation. L'idée fondamentale de l'excavation mécanisée industrielle est de pouvoir entreprendre ces trois opérations simultanément.

Principe du forage par un tunnelier

La machine mise au point par Robbins (TBM = Tunnel Boring Machine) consiste en une tête de forage circulaire, d'un diamètre égal à celui du tunnel à creuser (fig. 1). Cette tête est munie de disques de coupe placés à intervalles r guli rs du centre de la tête. La tête de forage est mise en rotation et simultanément poussée contre le front de taille du tunnel. Sous l'effet de la poussée et de la rotation, chaque outil de coupe va creuser un petit sillon circulaire. La profondeur de ce sillon varie de quelques millimètres à quelques

centimètres en fonction des caractéristiques géologiques et géotechniques du terrain travers , et de la poussée appliquée sur la tête de forage. Tous les disques de coupe ne sont pas alignés sur la roue de forage, chacun étant placé dans une position différente (fig. 2).

Le creusement d'un deuxième sillon à quelques centimètres du premier (5 à 10 cm) provoque l'éjection d'une écaille de roche, de forme aplatie, appelée chips. Les chips tombent sous l'effet de la gravité dans l'interstice entre la tête de forage et le rocher. Elles sont alors ramassées par des pelles situées à la périphérie de la tête et entrent dans celles-ci.

Dans la tête, des aubes délimitent des chambres. Par la rotation de la tête, les chips remontent dans leur chambre vers le haut de la tête, d'où elles tombent ensuite dans une trémie. Cette trémie alimente une bande transporteuse qui emmène le flux continu de fragments de roche ou de sol vers l'extérieur.

Dans les roches, les outils de coupe sont en général des disques dont la couronne externe en acier est à usage unique. Ces disques, dont les plus grands modèles ont un diamètre de 17 ou 19 pouces et pèsent plus de 90 kilogrammes, doivent être refroidis par projection d'eau. Dans les sols tendres, les disques sont remplacés par des sortes de couteaux.

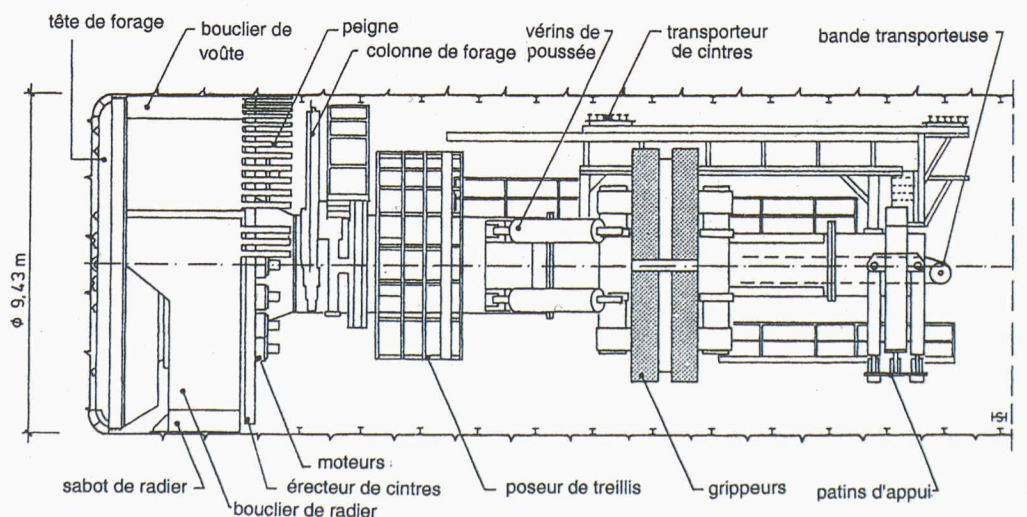
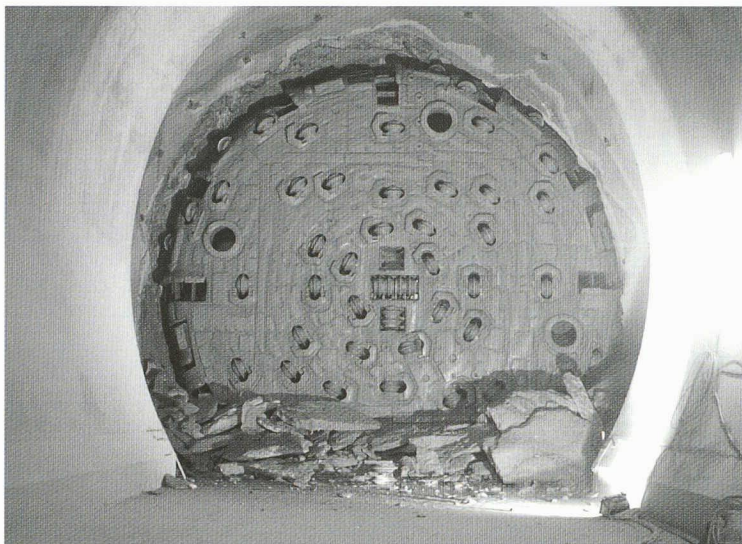


Fig. 1 : Vue schématique d'un tunnelier (Document fourni par l'auteur)

Fig. 2 : Tête de forage du tunnelier de Rarogne

Fig. 3 : Vérins d'avancement du tunnelier de Steg (Documents BLS Alptransit SA)



2



3

Avancement de la machine

La tête de forage est pressée contre le front de taille au moyen de très gros vérins. Ceux-ci doivent s'appuyer sur une base stable capable de supporter des efforts colossaux. Cet appui est réalisé de deux manières différentes en fonction de la géologie et de la méthode de soutènement choisie, soit :

- dans les roches massives, par de grands patins d'appui, dénommés gripeurs (ou grippers), qui sont butés au moyen de vérins encore plus puissants contre la périphérie de l'excavation ;
- si le soutènement est constitué d'un anneau de voussoirs, les vérins de poussée peuvent directement s'appuyer sur le dernier anneau posé.

Quand les vérins d'avancement sont en « bout de course », le forage doit être stoppé quelques minutes pour avancer toute la machine d'une longueur égale à la course des vérins. Ce pas d'avancement est en général de 1 à 2 m (fig. 3).

Soutènement

Une fois le tunnel foré, les parois de l'excavation doivent généralement être soutenues. Les mineurs doivent empêcher que la chute de blocs isolés ne les mette en danger ou n'endommage les installations, voire, dans les cas extrêmes, que le tunnel ne s'effondre.

Dans les sols et les roches friables, il est indispensable de poser immédiatement un anneau de voussoirs. Ces derniers sont généralement en béton armé, mais parfois aussi en fonte. Un anneau est composé de cinq à neuf voussoirs, qui sont montés à l'abri du bouclier de la machine (partie appelée aussi jupe).

Dans ce cas, on parle en général de tunneliers fermés. A contrario, dans les tunneliers ouverts utilisés dans les roches dites dures, la roche reste bien visible. Elle est soutenue par les méthodes usuelles de construction souterraines : ancrages, béton projeté et, dans les zones plus difficiles, par des cintres en acier.

Choix des méthodes d'excavation

Malgré d'évidents avantages, en particulier une vitesse de creusement élevée et une excavation de forme régulière - contrairement à l'excavation à l'explosif où les inévitables hors-profils doivent être remplis avec du béton -, les tunneliers ne peuvent être utilisés partout. En effet, ceux-ci supportent mal les variations géologiques et les imprévus. Il en résulte généralement une très importante chute de la cadence d'avancement, ce qui génère des surcoûts ; dans les cas extrêmes, la machine peut se retrouver complètement bloquée - comme c'est actuellement le cas au tunnel de

contournement de Moutier. De son côté, la méthode traditionnelle à l'explosif est relativement souple et peut être adaptée à pratiquement toute modification de la situation.

L'emploi économique des tunneliers ouverts de type roche dure est justifié dans les conditions suivantes :

- une géologie relativement homogène,
- un massif rocheux stable, sans grand accident géologique,
- une longueur de lot supérieure à 3-5 km,
- une place de montage suffisamment grande et accessible pour des convois exceptionnels,
- un réseau électrique capable de supporter les grands « appels de puissance » lors du démarrage des tunneliers.

D'une longueur nominale de 34,6 km, le tunnel de base du Lötschberg réunit un système de 88 km de galeries. Mais seuls 28 km ont été forés au tunnelier (fig. 4) :

- la galerie de reconnaissance de Frutigen-Kandersteg : longueur 9,6 km, diamètre 5 m, forée en 1995-1996,
- la galerie d'accès de Steg suivie d'une partie du tunnel de base ouest : longueur 8,9 km, diamètre 9,43 m, creusés d'octobre 2000 à septembre 2002,
- le tronçon sud du tunnel de base est depuis le portail de Rarogne : longueur 10,0 km, diamètre 9,43 m, excavé de juillet 2001 à novembre 2003.

Le lot Steg-Rarogne, le plus au sud, a été excavé en grande partie par deux grands TBM. Sa limite nord a été déterminée par la présence d'une veine de charbon qui n'était probablement pas traversable par ces engins. Avant de commencer l'excavation avec le tunnelier parti depuis Rarogne, un tronçon de roches du Trias (cargneules, schistes sériciteux, dolomies) de 150 m a dû préalablement être excavé de manière conventionnelle à partir d'une galerie de reconnaissance. Sinon le tunnelier risquait de rester bloqué à 500 m du portail.

Pour le lot central de Ferden, il a été décidé de renoncer à l'utilisation d'un tunnelier en raison des difficultés d'accès (caverne de montage accessible par une galerie de 4 km en pente descendante de 12 % ; à titre de comparaison le toboggan de Châtel-St-Denis n'atteint que 6 %), des risques de décompressions violentes de la roche (Bergschlag) et de la nécessité de construire une nouvelle ligne électrique à haute tension dans le Lötschental.

Pour le lot de Mitholz, le plus au nord, la grande variabilité de la géologie et les risques hydrogéologiques ont été déterminants pour exclure l'emploi de tunneliers.

Conception de la machine

La conception d'un tunnelier est du ressort de l'entrepreneur, mais les maîtres de l'ouvrage et les ingénieurs de pro-

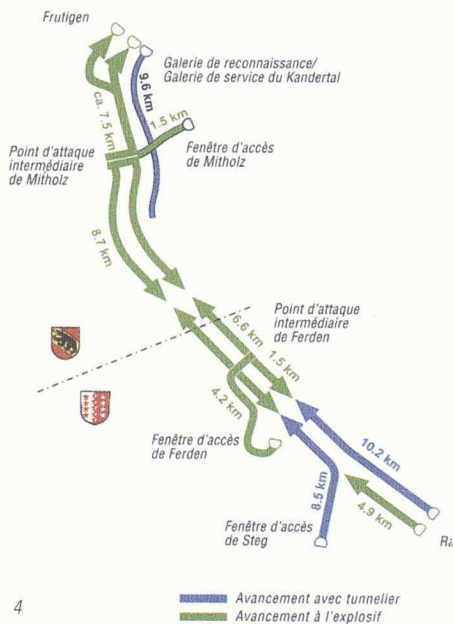
Tunneliers du lot Steg/Raron

- Constructeur : *Herrenknecht AG*, Schwanau (D)
- Entreprise utilisatrice : *ARGE MaTrans*, composée de *Marti Tunnelbau AG*, Berne
Walther Gruppe (D)
Unternehmungsgruppe Parr, Vienne (A)
Balfour Beatty Group Ltd., Londres (GB)
- Type : roche dure à deux gripeurs (tunnelier ouvert avec pose d'un voussoir de radier)
- Diamètre : 9,43 m, extensible à 9,63 m
- Outils de coupe : 60 disques en acier, diamètre des disques : 17" (432 mm)
- Poids des disques : 90 kg
- Poussée nominale par disque : 267 N
- Espacement des disques : 9 cm
- Longueur du tunnelier seul : 23 m
- Longueur totale (tunnelier + traîneaux) : 142 m
- Motorisation de la tête : 10 moteurs électriques à fréquence variable de 350 kW chacun
- Vitesse de rotation de la tête : entre 0 et 6 t/min.
- Force de poussée nominale : 16 020 kN
- Force de poussée maximale : 22 800 kN
- Force maximale de butée des gripeurs : 63 334 kN
- Poids total du tunnelier avec ses traîneaux : 1 450 t
- Evacuation des matériaux excavés : par bande transporteuse
- Horaires de travail : 7j/7, 2 x 9 heures d'avancement, 6 heures d'arrêt pour entretien
- Soutènement : posé directement derrière la tête, ancrages Swellex, L = 3,00 - 3,80 m, treillis d'armature K13, occasionnellement cintres HEB 180 posés à 55 m de la tête, béton projeté, épaisseur 7 - 10 cm, occasionnellement ancrages complémentaires.

Rendement des tunneliers

- Meilleur avancement journalier : 50,2 m/18 h (TBM Raron, 9 sept. 2003, record mondial)
- Meilleur avancement mensuel : 748 m (TBM Steg, juin 2002)
- Plus faible avancement mensuel : 51 m (TBM Raron, janvier 2001)
- Vitesse moyenne de l'avancement Steg (8 925 m) : 12,5 m/j
- Vitesse moyenne de l'avancement Raron (10 005 m) : 12,0 m/j

Fig. 4 : Graphique des tronçons avec les techniques d'excavation
(Document BLS Alptransit SA)



4

jet fixent souvent des exigences auxquelles doit satisfaire la machine. Pour le lot Steg-Rarogne du tunnel de base du Lötschberg, outre le diamètre du tunnel, les exigences principales suivantes avaient été définies par BLS AlpTransit AG dans l'appel d'offres :

- tunnelier ouvert du type « roches dures »,
- tête plate et courte, avec possibilité de changer les disques de coupe depuis l'arrière,
- possibilité d'élargir le diamètre de 9,40 m à 9,60 m (surcoupe de 20 cm),
- pose d'ancrages et de treillis de protection ou de cintres métalliques sur toute la périphérie de l'excavation, directement derrière la tête de forage,
- prise en compte du risque de décompressions violentes (Bergschlag),
- système de ventilation et de refroidissement adapté pour le forage dans des roches à température initiale élevée (35 à 40 °C)
- possibilité de réaliser des forages de reconnaissance destructifs de 80 m.

L'entreprise (Consortium MaTrans) a participé à la conception détaillée de la machine avec le constructeur, la firme allemande *Herrenknecht*. Des exigences de rendement ont été fixées par le consortium à l'entreprise constructrice ; mais celles-ci relèvent du contrat qui les liaient et sont par conséquent inconnues de l'auteur.

L'excavation du tunnel de base du Lötschberg

Pour le maître de l'ouvrage, BLS AlpTransit, l'excavation du tunnel de base du Lötschberg au moyen de tunneliers a très bien fonctionné (encadré, voir p. 11). Le programme des travaux a été tenu et des cadences d'avancement élevées ont été atteintes. A quatre occasions, les mineurs ont battu le record mondial journalier d'avancement pour des tunneliers de grand diamètre, à savoir 41,8 m, 43 m, 46 m et finalement 50,2 m. En outre, le soutènement nécessaire s'est avéré moins

important que prévu, si bien que le rayon intérieur du tunnel a pu être augmenté de 4,20 à 4,28 m.

Au cours de l'excavation, plusieurs difficultés ont dû être affrontées. Certaines n'étaient pas prévues, mais elles ont été maîtrisées grâce à la collaboration fructueuse de l'entreprise, de la direction des travaux et des ingénieurs du projet :

- des décompressions violentes (Bergschlag) aux parements de l'excavation,
- la formation de blocs devant la tête de forage,
- la présence d'amiante dans quelques fissures,
- le blocage du tunnelier par la poussée de la roche sur un court tronçon (phénomène de « flambage » des couches).

Toutefois, l'entreprise a fait état d'une usure exagérée de la machine qui résulterait de la dureté de certaines roches, de leurs teneurs en quartz et de la formation des blocs devant la tête. Chaque tunnelier a dû être arrêté à trois reprises pour renforcer la tête de forage et remplacer des éléments usés, ce que l'entrepreneur n'avait pas prévu initialement.

Conclusion

Le tunnel de base du Lötschberg sera mis en service en 2007, comme prévu. Sa réalisation est un bon exemple de l'utilisation des tunneliers. Contrairement à une opinion largement répandue, tous les tunnels ne peuvent pas être réalisés au moyen de tunneliers. En presque 50 ans d'existence et de perfectionnement, l'excavation mécanisée n'a pas réussi à supprimer l'excavation traditionnelle à l'explosif. Au contraire, ces deux méthodes sont complémentaires :

- les tunneliers permettent des forages à « haute » vitesse dans des géologies homogènes ;
- la méthode traditionnelle, par son adaptabilité et sa souplesse permet de s'affranchir de presque toutes les surprises que réserve le sous-sol de nos Alpes.

Si ces inévitables « surprises » font que la construction souterraine ne sera jamais une activité monotone et ennuyeuse, elles mettent souvent à rude épreuve les nerfs des constructeurs et les budgets des maîtres de l'ouvrage. C'est lors du franchissement des difficultés géologiques que le facteur humain devient prépondérant ; la peur des uns, l'expérience des autres font qu'un chantier s'enlise ou avance. Malgré le fait que les travaux souterrains se mécanisent de plus en plus, il faut toujours garder à l'esprit que ce sont des hommes qui font fonctionner les machines et bâtissent ces gigantesques ouvrages.

Gérard Seingre, ing. civil dipl. EPFL, chargé de cours EPFL
IGWS Ingenieurgesellschaft Westschweiz
Saflichstrasse 4, CH - 3900 Brigue
BG Ingénieurs Conseils, Sion