

24e Session d'étude sur les techniques de sautage
Les 1 et 2 novembre 2001

**Comparaison du tunnelier versus le forage et
dynamitage pour forer un tunnel dans le roc**

Roger F. Favreau, Royal Military College, Kingston

**COMPARAISON DU TUNNELIER VERSUS LE FORAGE ET
DYNAMITAGE POUR FORER UN TUNNEL DANS LE ROC**

R. F. Favreau Ph.D. *

Pour présentation à la 24^e Session d'Étude sur les Techniques de Sautage,
Université Laval, Québec, Que., 1-2 Nov. 2001.

*Professeur Émérite, Royal Military College, Kingston, Ont.

Tel. 613 541 6000 ext. 6198

Fax 450 563 2720

E-mail rogerfavreau@earthlink.net

COMPARAISON DU TUNNELIER VERSUS LE FORAGE ET DYNAMITAGE POUR FORER UN TUNNEL DANS LE ROC

R. F. Favreau Ph.D.

I AVANT-PROPOS :

Traditionnellement l'excavation des tunnels dans le roc s'effectuait au forage et dynamitage. Depuis quelques décennies, il existe aussi une autre option, celle d'excaver un tunnel dans le roc à l'aide d'un tunnelier, ou comme on dit en Anglais, TBM pour ``Tunnel Boring Machine``. La demande d'excavation de tunnels dans le roc augmente au niveau mondial. La création de l'Europe Uni exige que les Alpes ne soient plus un obstacle au trafic. Même l'Angleterre est maintenant relié au continent Européen par un tunnel sous la manche, un fait qui aurait été impensable durant la période Napoléonienne. D'ici peu, les Carpathes devront être traversées par de nombreux tunnels. Les villes d'Asie se dotent de métros qui requierent des tunnels. Au Québec, les besoins en métros, aqueducs et centrales hydrauliques nécessitent des tunnels dans le roc.

Ainsi, à long terme on peut s'attendre à ce que l'industrie d'excavation de tunnels dans le roc soit en essort. Ceci crée une pression pour réduire les coûts. De plus, à mesure que la société impose à l'industrie de l'excavation à l'explosif des normes de plus en plus sévères relativement aux nuisances comme les vibrations et le bruit, l'attrait du tunnelier augmente, car le tunnelier est perçu par les donneurs d'ouvrage comme étant une source de nuisances moins importante que le dynamitage, surtout en milieu urbain.

Pour ces raisons, il devient de plus en plus pertinent pour ceux qui oeuvrent dans le domaine de l'excavation du roc de devenir familier avec la méthode d'excaver le roc au tunnelier, par comparaison avec la méthode traditionnelle au forage et dynamitage. Le but de la présentation est de fournir des informations sur comment comparer les deux méthodes, e. g. si un donneur d'ouvrage demande aux entrepreneurs deux soumissions parallèles soient au tunnelier ou au forage et dynamitage.

II ASPECTS QUI AFFECTENT LE CHOIX ENTRE TUNNELIER ET FORAGE/DYNAMITAGE :

Il y a plusieurs aspects qui jouent un rôle lors du choix entre l'excavation au tunnelier et celle au forage/dynamitage. Par exemples :

- 1) Les propriétés mécaniques du roc.
- 2) Le parcours du tunnel.
- 3) L'importance du contrôle des nuisances.
- 4) L'investissement initial en équipement.
- 5) La période de temps disponible pour les travaux.
- 6) Les informations techniques dont doit disposer l'entrepreneur.

La présentation traite sommairement les aspects 2), 3), 4) et 5), et traite plus amplement les aspects 1) et 6).

Par exemple, le parcours du tunnel est important pour les raisons suivantes. Lors de l'excavation d'un tunnel au forage et dynamitage, l'exigence que celui-ci droit changer de direction à un endroit le long de son parcours ne présente pas un problème extrêmement sérieux. Par contre, l'abilité d'un tunnelier de changer de direction dans le massif rocheux est très limité. Même que, si le virage doit se faire sur une courte distance, alors il faut souvent effectuer de l'excavation auxiliaire au forage/dynamitage afin de permettre au tunnelier de faire le virage. Ceci impose des retards et des coûts additionnels. Donc on peut dire que le choix du tunnelier est moins favorable si le parcours du tunnel doit subir de nombreux virages.

L'importance des nuisances est très pertinente pour le choix entre forage/dynamitage et tunnelier. Les donneurs d'ouvrage ont tendance à percevoir la méthode au forage et dynamitage comme une source de nuisances, soient bruits et vibrations, lesquelles inciteront des plaintes et même possiblement des actions en cour, avec un risque de retardement du projet. Le tunnelier est très bruyant pour ses opérateurs dans le tunnel en construction, mais ce bruit est continu et semble suscité moins de crainte que l'onde de choc inattendue d'un tir. Donc, même à coût égal, une excavation au tunnelier semble perçu favorablement par les donneur d'ouvrage, surtout dans un milieu urbain.

Un aspect clef du choix entre tunnelier et forage/dynamitage, du point de vue d'un entrepreneur qui soumissionne pour une excavation de tunnel, est l'investissement initial en capital. L'acquisition d'un tunnelier pour un

projet de tunnel spécifique est habituellement basée sur un contrat d'achat/re-vente entre l'entrepreneur et le fournisseur du tunnelier, car les caractéristiques du tunnelier varient presque toujours entre différents tunnels. Avant le projet, le fournisseur construit ou modifie le tunnelier selon les exigences du tunnel demandées à l'appel d'offres; suite à la re-vente, il le modifiera à nouveau pour le projet suivant. Lors de la signature du contrat entre l'entrepreneur et le fournisseur, le coût net est décidé; il représente une somme très importante, donc un investissement majeure et irréversible auquel l'entrepreneur s'engage dès le début du projet. Par contre, si le tunnel est excavé au forage/dynamitage, le coût en équipement qui correspond au tunnelier est celui des ``jumbos`` et foreuses, lesquels sont habituellement disponibles en location et à des coûts moins importants que ceux du tunnelier .

Le donneur d'ouvrage spécifie habituellement la période de temps . disponible à l'entrepreneur pour achever la construction du tunnel; il y a souvent des pénalités si cette période est excédée. Si un entrepreneur qui soumissionne au forage/dynamitage envisage de tirer et déblayer deux fois par jours, avec disons une avance moyenne par tir d'environ 2.5 m (référence (1)), alors il peut prévoir une production d'environ 35 m par semaine de sept jours. La littérature technique sur les tunnelier (référence (2)) suggère des avances moyennes possibles allant d'environ 100 à 300 m/sem., ce qui à priori semble très attrayant pour rencontrer un échéancier serré. Par contre, ces valeurs sont pour les périodes où le tunnelier est effectivement en production continue. En pratique, les périodes de non-production du tunnelier sont extrêmement importantes, comprenant des périodes d'entretien et réparation du tunnelier, une période initiale importante durant laquelle on excave l'emplacement de départ du tunnelier (habituellement à l'explosif) et on l'assemble sur le chantier, ainsi que des périodes de ralentissement important à chaque virage du tunnel. Le taux de production dépend aussi des propriétés du massif rocheux (voir les sections suivantes), qui dans un roc non-propice peuvent réduire l'avance en production continue à un taux aussi bas qu'environ 25 m/sem. Comme la somme des périodes de non-production citées plus haut peut réduire l'avance moyenne à 50% ou même 30% de l'avance en production continue, il est plus réaliste d'entrevoir une production effective au tunnelier allant de 8m/sem. à 75 m/sem.

III MÉCANISMES D'EXCAVATION DU ROC À L'EXPLOSIF ET AU TUNNELIER :

Afin de pouvoir discuter comment les propriétés mécaniques du roc affectent le choix entre forage/dynamitage et tunnelier, il faut premièrement comprendre les mécanismes qui agissent lors de l'excavation du roc à l'explosif et ceux qui agissent lors de l'excavation au tunnelier.

Excavation à l'explosif :

Les mécanismes qui agissent lors de l'excavation du roc à l'explosif sont élaborés dans la littérature technique, e. g. voir les références (3) et (4) et les paragraphes suivants qui en font un rappel. Référant à la Fig. 1(a), après que la colonne d'explosif a détonnée, les gaz de l'explosion imposent une expansion soudaine du volume du trou de mine. Cette expansion rapide est arrêtée par la résistance élastique du roc, mais cette poussée des gaz a déjà créé une onde de choc en compression. Cette onde étant en compression, elle ne cause que peu de dommage au roc; par contre, à son arrivée à la paroi libre elle est réfléchiée en traction, fig. 1(b). elle rebrousse ensuite chemin à travers le massif rocheux, infligeant des fissures primaires qui diminuent la résistance du roc, permettent la reprise de l'expansion des gaz dans le trou. Cette nouvelle expansion n'est pas ressentie partout à la fois dans le massif; plutôt, comme l'indique la fig. 1(c), son effet se transmet via un front de fissures secondaires derrière lequel il y a du roc fortement brisé et en avant duquel il n'y a que des fissures primaires. Ce front de fragmentation secondaire se déplace vers la paroi libre. Lors de son arrivée à celle-ci, le massif rocheux éclate (voir la fig. 1(d)), et les différents fragments de roc sont projetés vers l'avant ou ils forment le tas de pierre à déblayer plus tard.

Excavation au tunnelier :

La structure d'un tunnelier consiste en un énorme cylindre métallique, à l'avant duquel (voir les figs. 2, 3 et 4) se trouve une grosse plaque circulaire qui tourne à environ 15 r. p. m. et dont le diamètre est le même que celui du tunnel. Sur cette plaque sont distribuées une trentaine de lames d'acier de forme circulaire de diamètre d'environ 25 cm, orientées perpendiculairement à la face du roc à excaver et chacune desquelles peut tourner librement sur son essieu. Sur les côtés du cylindre, il y a des presses qui poussent sur le mur du tunnel afin d'encrener le tunnelier en place. Un système mécanique à l'intérieur du cylindre pousse la plaque tournante avec une pression énorme

sur la face de roc à excaver à l'avant du cylindre. Le tunnelier est orienté selon la longueur du tunnel; les lames grugent la face du roc et la plaque tournante avance dans le vide ainsi excavé, jusqu'à ce que la limite de l'avance du système de pression métallique soit atteinte. Alors le cylindre est désancré, la plaque tournante est reculée, le cylindre avance sur des rails, et il est de nouveau ancré au mur. Ce processus est répété, de façon à ce que le tunnelier excave le roc en avant de la plaque tournante et avance le long du parcours prévu pour le tunnel.

Donc ce sont les lames d'acier qui excavent le roc, et leur action excavatrice est due au champ de contraintes créé dans le massif rocheux par la force des lames sur la face à excaver (voir les figs. 5,6 et 7). Ce champ est en compression P en face de la lame et en traction S sur les côtés, à l'avant et à l'arrière de celle-ci, comme le montrent les figs. 6 et 7. Le roc dans la région des lames brise en petits fragments, à condition que (1) la valeur de S excède la résistance en traction S_r du roc et que (2) l'énergie spécifique E fournit au roc excède la valeur E_{min} nécessaire à fragmenter celui-ci (voir la fig. 8). Ce mécanisme de fragmentation par les lames d'un tunnelier n'est pas tout à fait différent de celui qui impose le front de fragmentation secondaire lors d'un tir à l'explosif (voir la fig. 1(c)), mais l'action des lames ne produit pas d'onde de choc.

Le mécanisme de fragmentation du roc par un tunnelier expliqué au paragraphe précédent est pour un massif rocheux libre de fissures et de plans de faiblesse. Si le massif rocheux est pré-fissuré, alors la valeur de l'énergie spécifique E_{min} nécessaire pour que la lame puisse fragmenter le massif est réduite par rapport à celle pour le même massif libre de fissures. Un tunnelier est donc plus efficace dans un massif rocheux comprenant des fissures et des plans de faiblesse. L'importance de cet aspect sera discuté à la section suivante.

IV MÉTHODES DISPONIBLES POUR PRÉVOIR L'EXCAVATION À L'EXPLOSIF ET CELLE AU TUNNELIER :

Lors de la préparation d'un projet de tunnel dans le roc et de la rédaction des devis pour ce tunnel, un donneur d'ouvrage doit effectuer une étude de faisabilité des travaux pour chacune des méthodes d'excavation envisagées, soient au forage/dynamitage ou au tunnelier. Sans une telle

étude, et les sondages géotechniques qui s'y rapportent, il n'est pas en position de fournir aux soumissionnaires les informations géotechniques qui leur permettront d'évaluer avec justesse le coût des travaux. De plus, si les résultats de ces deux études de faisibilité démontrent que le roc est moins propice à l'excavation au tunnelier qu'au forage/dynamitage, mais que le donneur d'ouvrage souhaite que l'excavation soit effectuée au tunnelier pour des raisons de bruits et vibrations, il se doit en bonne foi d'en informer les soumissionnaires.

Les paragraphes suivants présentent un résumé des méthodes disponibles aux donneurs d'ouvrage afin d'effectuer des études de faisibilité objectives relativement à l'excavation du tunnel par forage/dynamitage ou par tunnelier, lors de la préparation de son projet. Ces mêmes méthodes sont aussi disponibles aux entrepreneurs lors de la préparation de leurs soumissions, à condition évidemment que l'appel d'offres comprend déjà les données du roc nécessaires à l'utilisation de ces méthodes, car le temps disponible pour préparer deux soumissions est très court.

Excavation à l'explosif :

Les méthodes d'excavation d'un tunnel par forage/dynamitage sont en vigueur depuis très longtemps. De plus, les ``jumbos`` modernes les rendent beaucoup plus efficaces. Il existe même des ``jumbos`` automatisés qui sont en développement pour les mines souterraines. En plus des nombreuses connaissances basées sur l'expérience des ses ingénieurs et techniciens, un donneur d'ouvrage et un entrepreneur peuvent aussi faire appel à l'expérience des fournisseurs d'explosifs en matière d'excavation de tunnel dans le roc.

De plus, ils peuvent faire appel au simulateur de sautage BLASPA. Par exemple, la référence (1) explique comment les simulations permettent d'excaver un tunnel avec des parois lisses et de bonne qualité dans un massif rocheux donné. Il est aussi possible de simuler afin d'optimiser le rapport qualité versus coûts. Afin d'utiliser les simulations sur BLASPA, il faut avoir la connaissance des propriétés mécaniques suivantes du roc : la valeur du module de Young Y , de l'index de Poisson s , de la densité du roc d , et de sa résistance en compression S_c .

Excavation au tunnelier :

Il existe présentement trois méthodes avec lesquelles on peut évaluer la productivité d'un tunnelier à excaver un massif rocheux donné, soient la méthode NTNU développée par l'Université de Trondheim en Norvège, la méthode BRC développée par les fournisseurs de tunnelier Boretac et Robbins avec l'appui du Colorado School of Mines, et le simulateur TUNELIER qui sera traité plus bas. L'usage détaillé des méthodes NTNU et BRC se ressemble et se trouve aux références (5) et (6). Afin de les utiliser il faut certaines informations relativement au tunnelier, e. g. la valeur de la force maximale F_{\max} sur une lame, la valeur du r. p. m. de la plaque tournante, la puissance du tunnelier, et la géométrie de la lame; ces informations sont disponibles à partir du fournisseur du tunnelier.

Il faut aussi des informations relativement au roc, soient pour la méthode NTNU la connaissance de l'Index de Forage DRI et la valeur de l'Index d'Abrasivité CLI, pour la méthode BRC la connaissance de la résistance en compression S_c , la connaissance de la résistance en traction S_t , et le % de chaque composante du roc ayant une classification H donnée sur l'échelle de dureté Moh. Pour les deux méthodes NTNU et BRC il faut la connaissance de la distance moyenne L entre les plans de faiblesse et l'angle moyen A entre les plans de faiblesse et l'axe du tunnel; ces deux informations L et A permettent de prévoir l'effet des plans de faiblesse sur la productivité d'excavation du tunnelier, par rapport à un massif libre de fissures.

Essentiellement pour chacune des méthodes NTNU et BRC on devine la valeur I_0 en m/hr du taux instantané de pénétration de la lame dans la face du roc, **assumant que le roc brise**; ensuite un calcul qui tient compte des propriétés du roc DRI et CLI (méthode NTNU) ou S_c , S_t et le % des classifications H de Moh (méthode RBC) permet de vérifier si ce taux est possible avec la puissance du tunnelier disponible. La procédure est répétée pour d'autres valeurs de I_0 , jusqu'à ce que cette valeur correspond à la puissance disponible.

L'autre méthode présentement disponible pour évaluer la productivité d'un tunnelier dans un massif rocheux donné est de faire appel à la sous-routine TUNELIER du simulateur BLASPA, qui peut simuler en détail le mécanisme d'excavation des lames pour un tunnelier donné dans un roc de

propriétés mécaniques données, et ainsi prédire le taux de pénétration instantané P_i en m/hr dans un massif libre de fissures. Pour convertir P_i à I_o , on utilise la même procédure que les méthodes TNTU ou BRC pour tenir compte de l'effet des fissures et plans de faiblesse. Afin d'utiliser le simulateur TUNELIER, il faut avoir la connaissance des propriétés du roc suivantes : sa résistance en compression S_c , sa résistance en traction S_t , son module de Young Y , son index de Poisson s , et son énergie spécifique E_{min} , laquelle provient d'une corrélation entre E_{min} et S_t . L'avantage de l'usage de TUNELIER est qu'il n'assume pas que le roc fragmente, comme le font les méthodes TNTU et BRC. Au contraire, TUNELIER permet de déterminer si oui ou non le roc fragmente sous l'action des lames, pour un roc de propriétés données et un tunnelier de caractéristiques données. Donc TUNELIER surmonte la grande lacune des autres méthodes, lesquelles ont historiquement fait plusieurs prévisions catastrophiquement erronées.

Les propriétés du massif rocheux requises pour l'usage des méthodes TNTU, BRC ou le simulateur TUNELIER, soient les valeurs de DRI, CLI, S_c , S_t , % des classifications Moh, Y , s et E_{min} doivent être déterminées par le donneur d'ouvrage pour des échantillons de roc tout au long du tunnel, sans quoi il est impossible pour le donneur d'ouvrage de décider de la faisabilité d'excaver le tunnel au tunnelier, et impossible pour un soumissionnaire d'évaluer avec justesse le coût prévu de l'excavation au tunnelier. Si les propriétés du massif rocheux s'avèrent raisonnablement uniformes, la disponibilité des valeurs à tous les 100 m du tunnel ou plus peut être adéquate; dans un massif très très variable, il est possible qu'afin d'être représentatives les valeurs doivent être disponibles à tous les 10 m.

V CONCLUSIONS :

La présentation a traité des aspects clefs qui peuvent aider à faire le choix entre excaver un tunnel par forage/dynamitage ou au tunnelier, ainsi que des méthodes disponibles qui peuvent aider à faire ce choix, et des informations techniques nécessaires à l'usage de ces méthodes.

La présentation a fourni un aperçu très sommaire des valeurs de productivité d'excavation à l'explosif par rapport à celles mentionnées dans la littérature technique pour les tunneliers. D'après ces informations, malgré qu'elles soient plutôt maigres, il semble que la productivité allant jusqu'à

disons 200 m/sem. pour un tunnelier dans les meilleures conditions possibles soit très intéressante par rapport à ce qui est possible à l'explosif. Mais il faut pour atteindre cette productivité optimale que **toutes** les conditions soient idéales : massif rocheux de propriétés mécaniques faibles et très uniformes mais très pré-fissuré selon la longueur entière du tunnel, aucun virage dans le parcours du tunnel, aucun imprévu durant les travaux etc. De plus, l'investissement initial important et le risque de retards important si le massif n'est pas propice, font que les coûts de la méthode au tunnelier soient très aléatoires. L'incertitude de la méthode par forage dynamitage semble moins importante.

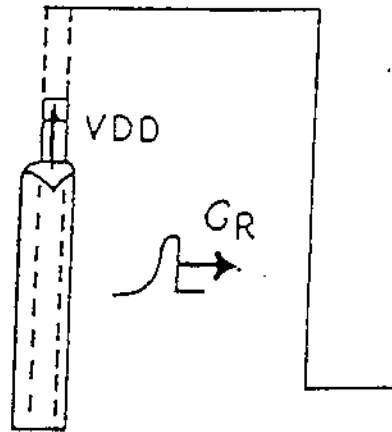
Par contre, les avantages possibles du tunnelier pour un tunnel très long, ainsi que l'aspect des nuisances du bruit et des vibrations, font qu'un entrepreneur sérieux ne peut pas tout à fait négliger de considérer la possibilité d'excavation au tunnelier. Mais si il décide de l'examiner, il doit utiliser toutes les méthodes disponibles de l'évaluer, afin d'éviter les résultats catastrophiques rencontrés historiquement sur certains sites de tunnel.

Références :

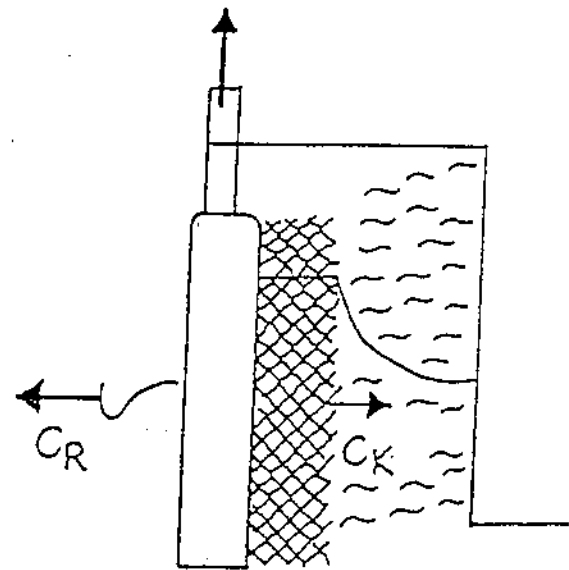
- (1) R. F. Favreau, G. W. Kuzik et al, ``Underground mining : the use of computer blast simulations to improve blast quality``, publié dans le Bulletin CIM, vol. 82, No. 921, 1988.
- (2) S. T. Movinkel, O. Johanessen, ``Geological parameters for hard rock tunnel boring``, University of Trondheim, Norway, 1991, fig. 14.
- (3) R. F. Favreau, ``Generation of strain waves in rock by an explosion in a spherical cavity`` Journal of Geophysical Research, 74, 4267, 1969.
- (4) R. F. Favreau, ``Blasting simulations - present and future``, Annual Meeting of the Can. Inst. Of Mining, Ottawa, April 1984.
- (5) NTNU I-94 ``Hard rock tunnel boring``, Université de Trondheim, Norvège, 1994.
- (6) J. Rostami, L. Osdemir, ``A new model for performance prediction of hard rock TBM's``, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 1995.

FIG. 1 MECANISMES DU SAUTAGE

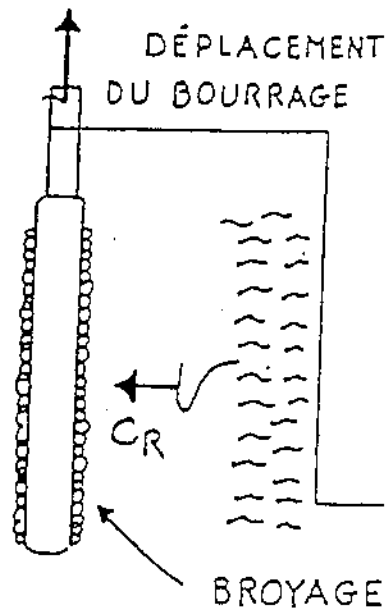
(a)



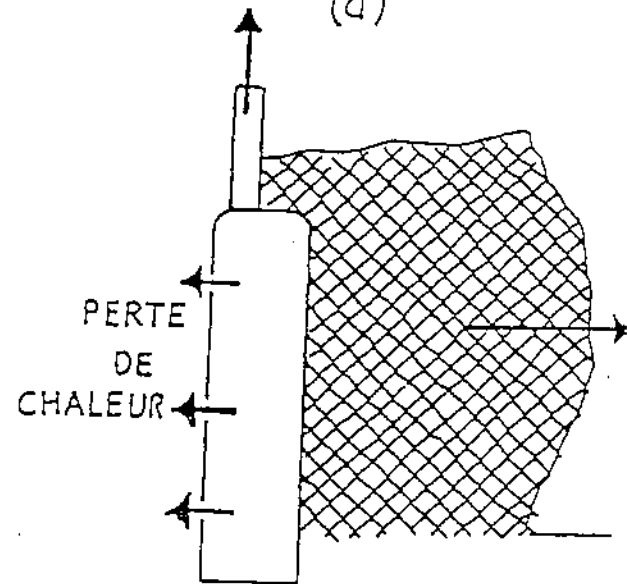
(c)

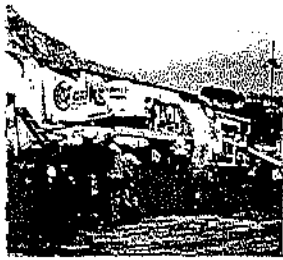


(b)

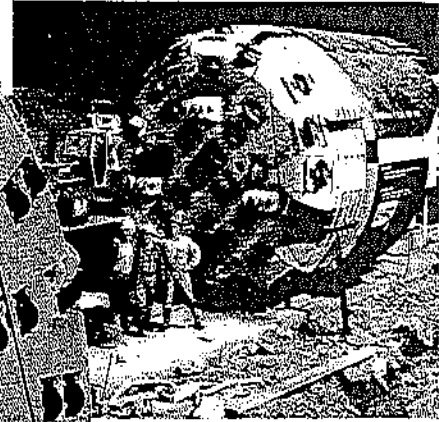


(d)

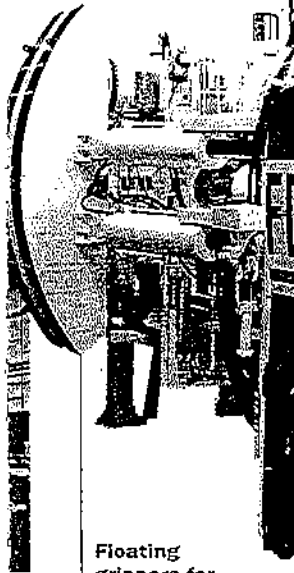




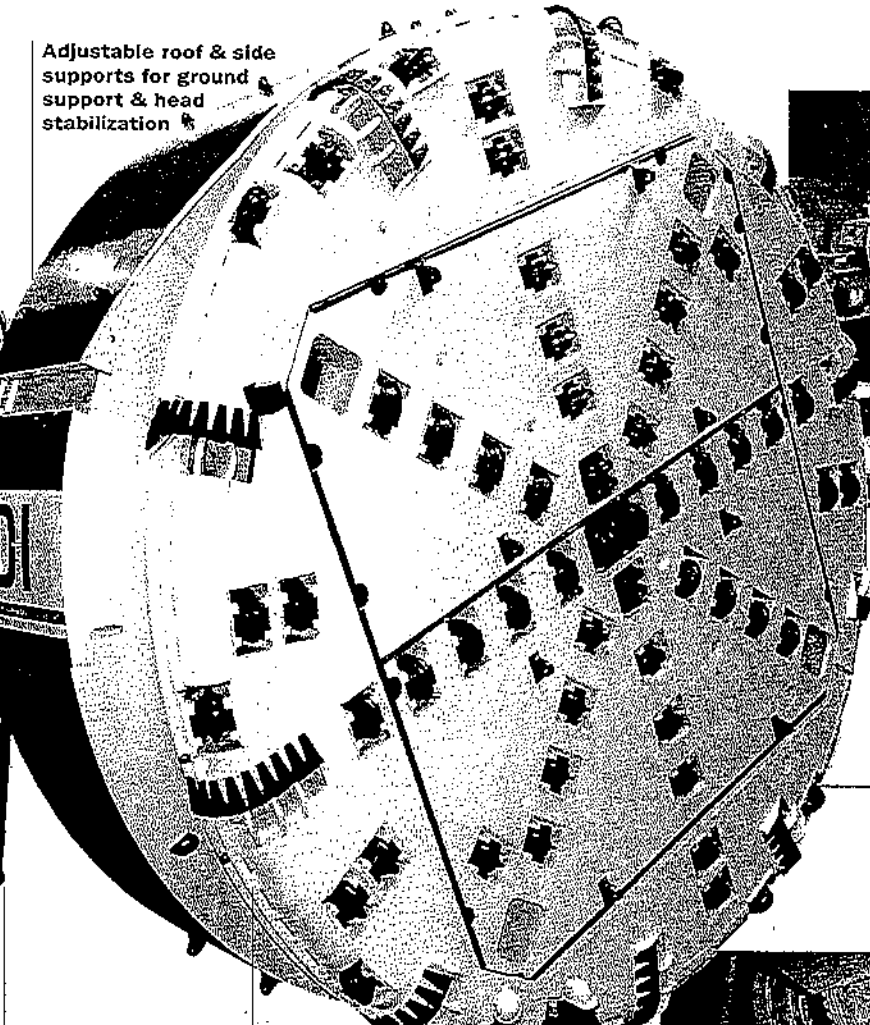
Adjustable roof & side supports for ground support & head stabilization



5m diameter TBM ready for basalt.



Floating grippers for continuous steering

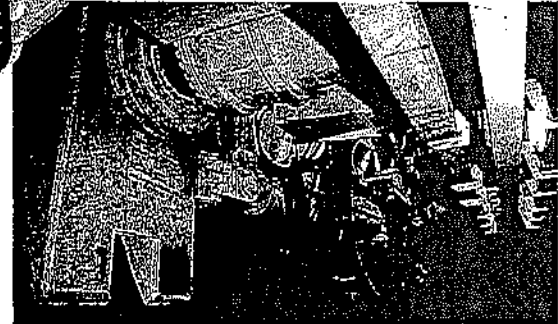


Back or front loading cutters

Roof drills

Six-piece head for transport

Bolt-on bucket lips



Floating grippers allow steering vertically and horizontally while boring.

TBM BORING CYCLE

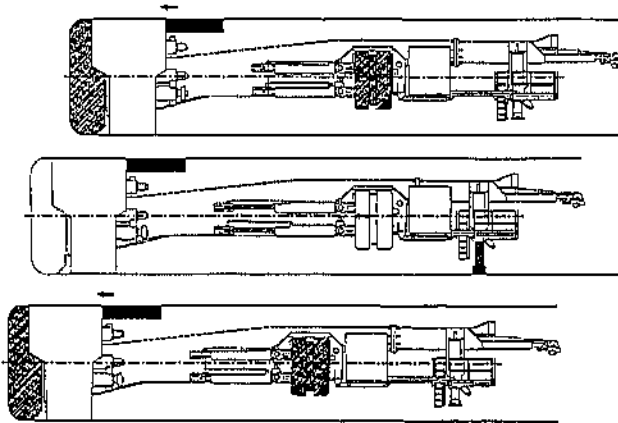
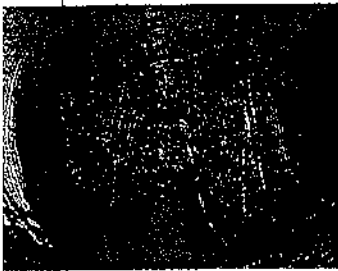


FIG. 2

MAIN-BEAM TBM SPECIFICATIONS

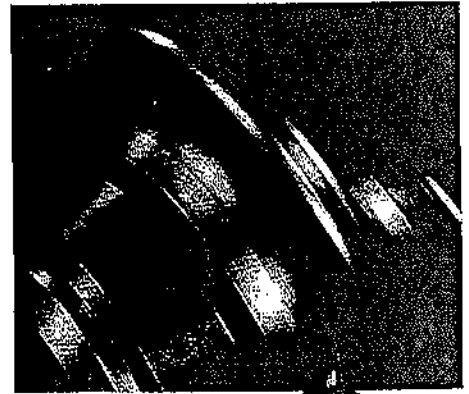
Series	Cutterhead Diameter	Cutterhead Power, Max.	Torque*	Cutterhead Thrust
340	9 - 12m (29 - 40 ft)	3465 kW (4,645 hp)	7330 kNm (5,405,600 ft-lb)	20215 kN (2,270 tons)
290	7.5 - 10m (25 - 33 ft)	3150 kW (4,225 hp)	6550 kNm (4,831,300 ft-lb)	17290 kN (1,945 tons)
240	6.5 - 8.5m (21 - 28 ft)	2520 kW (3,380 hp)	3660 kNm (2,699,600 ft-lb)	14630 kN (1,645 tons)
200	5 - 7m (16 - 23 ft)	2205 kW (2,955 hp)	2820 kNm (1,080,000 ft-lb)	12000 kN (1,350 tons)
170	4 - 6m (13 - 20 ft)	1850 kW (2,535 hp)	2000 kNm (1,475,200 ft-lb)	10,700 kN (1,200 tons)
140	3.5 - 5m (11 - 17 ft)	1575 kW (2,110 hp)	1380 kNm (1,017,900 ft-lb)	9310 kN (1,050 tons)
120	3 - 4m (10 - 13 ft)	1260 kW (1,690 hp)	930 kNm (685,000 ft-lb)	7500 kN (850 tons)
100	2.5 - 3m (8 - 10 ft)	1000 kW (1,340 hp)	550 kNm (413,000 ft-lb)	6120 kN (690 tons)

*For single speed, Higher torque can be supplied with two- or variable-speed drive. Specifications subject to change without notice.



Cut the cost per meter bored.

Robbins' knowledge of rock boring and the metallurgy and manufacturing processes that go into long-lasting cutters is the deepest in the world. Robbins invented the disc cutter and invests heavily in R&D to stay at the forefront of cutter evolution.



Robbins cutters all derive from the same principle: design for the longest life. That way our cutters give you the lowest cost per meter bored.

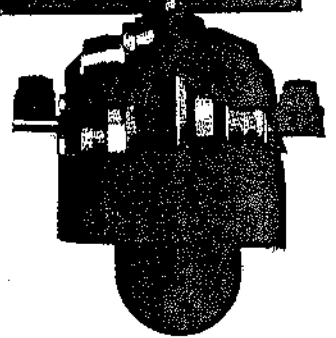
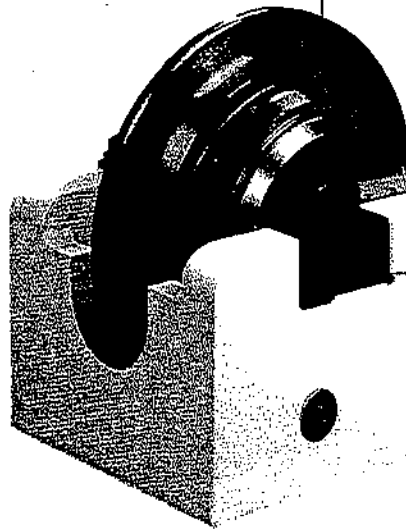
From our largest cutter for use with the most powerful TBMs in the hardest rock conditions to the smallest discs for use with micro-TBMs, Robbins cutters all derive from the same principle: *design for the longest life*. That way our cutters give you the lowest cost per meter bored.

Robbins newest series of cutters is available in a wide range of disc profiles. Each is designed to give the best value in different rock types, from the tougher rock types that tend to wear cutters the most, to the more friable rock types that bore readily.

The Robbins wedge-lock mounting system is part of our cost-cutting formula. We developed this simple solution to reduce hardware costs (by 90% compared to previous designs), and to minimize downtime due to cutter housing damage. To date, the wedge-lock system has exceeded customer expectations on numerous projects and hundreds of kilometers of bored tunnel.

In addition to cutters, Robbins can supply fully outfitted cutter shops and the personnel to staff them. Put our experience on-site to further reduce your costs.

Constant width rings



Hardened housing seats

CUTTER SPECIFICATIONS

Diameter	Capacity	Mounting Method
165mm	53 kN	Front Loading
6.5 in.	12,000 lb	V-Block
280mm	110 kN	Front & Back Loading
11 in.	25,000 lb	V-Block & Wedge-Lock
305mm	120 kN	Front Loading
12 in.	27,000 lb	V-Block & O-Mount
330mm	120 kN	Front Loading
13 in.	27,000 lb	V-Block & O-Mount
330mm	120 kN	Front & Back Loading
13 in.	27,000 lb	Wedge-Lock
355mm	120 kN	Front & Back Loading
14 in.	27,000 lb	Wedge-Lock
355mm	180 kN	Front Loading
14 in.	40,000 lb	O-Mount
394mm	222 kN	Front Loading
15.5 in.	50,000 lb	V-Block
394mm	222 kN	Front & Back Loading
15.5 in.	50,000 lb	Wedge-Lock
413mm	245 kN	Front Loading
16.25 in.	55,000 lb	V-Block
432mm	267 kN	Front Loading
17 in.	60,000 lb	V-Block
432mm	267 kN	Back Loading,
17 in.	60,000 lb	Spherical Seat
432mm	245 kN	Front & Back Loading
17 in.	55,000 lb	Wedge-Lock
457mm	222 kN	Front & Back Loading
18 in.	50,000 lb	Wedge-Lock
483mm	311 kN	Front & Back Loading
19 in.	70,000 lb	Wedge-Lock

FIG. 3



FIG. 4

Robbins

Hard Rock Solutions. Performance. Leadership.

FIG.5: PÉNÉTRATION DU ROC PAR
UNE LAME

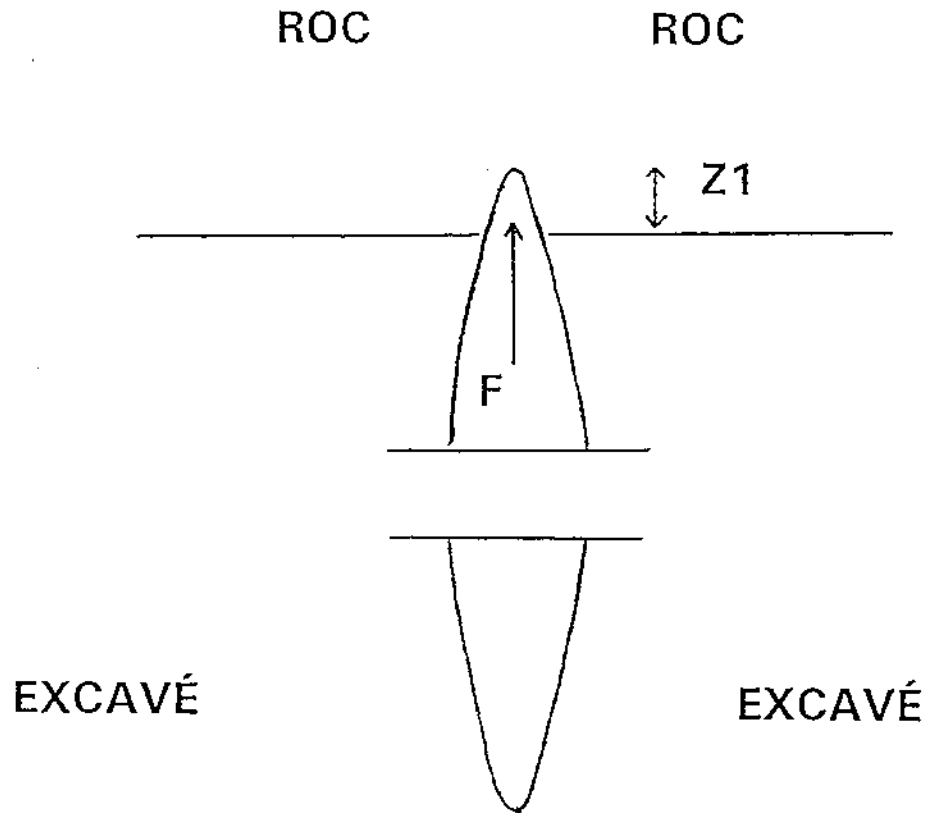


FIG.6: CONTRAINTE S ENTRE DEUX LAMES

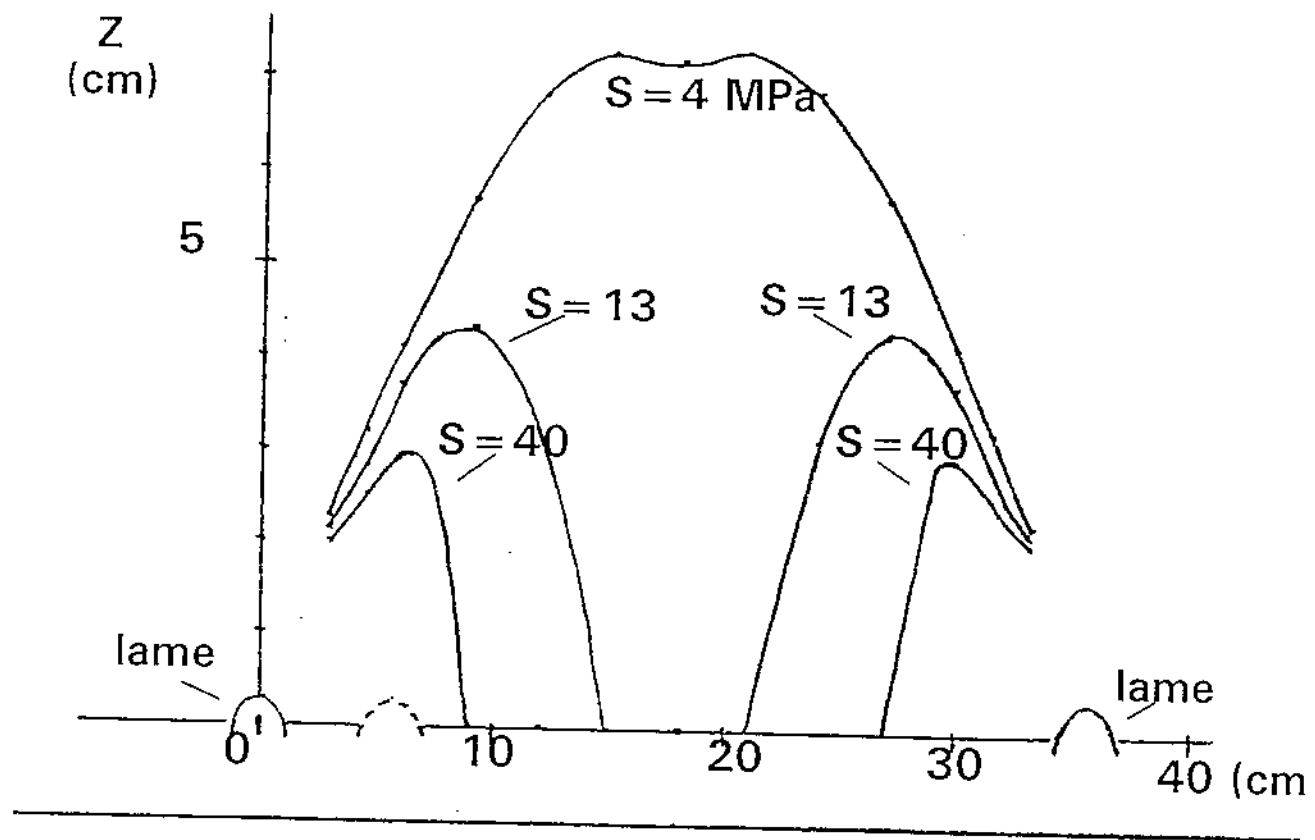


FIG.7: CONTRAINTE S EN AVANT D'UNE LAME

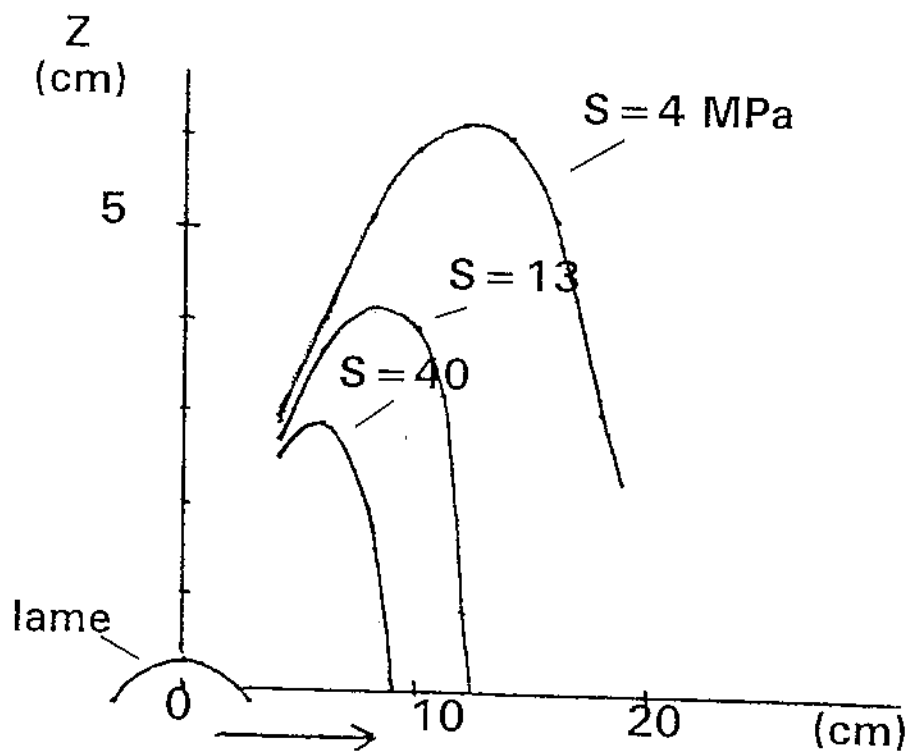


FIG.8: NIVEAUX D'ÉNERGIE SPÉCIFIQUE
E DANS LE ROC

