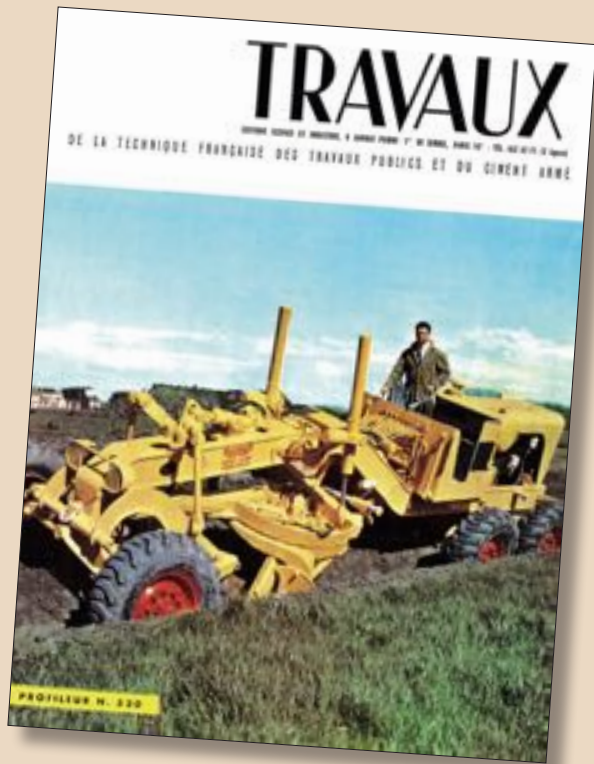


# TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE TUNNEL ROUTIER SOUS LE MONT BLANC - EXÉCUTION DES TRAVAUX CÔTÉ ITALIE

V. SCAVARDA, DOCTEUR-INGÉNIEUR, DIRECTION DU CHANTIER DE PERCEMENT DU TUNNEL DU MONT BLANC  
G.C. MESCHINI, DOCTEUR-INGÉNIEUR, SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA  
TRAVAUX N°338 - JANVIER 1963

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTF



L'aventure commence en 1946 par une galerie de reconnaissance de 100 m côté italien.

En 1949 est signée une convention franco-italienne pour le percement d'un tunnel routier sous le Mont-Blanc, ratifiée en 1953 par les parlements des deux pays. Les 11,6 km du tunnel du Mont Blanc relient depuis 1965 la vallée de Chamonix en Haute-Savoie et la vallée d'Aoste en Italie. Il fut construit par les sociétés Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) et la Société Italienne du Tunnel du Mont Blanc (SITMB). Les travaux auront duré près de vingt ans.

L'article décrit de manière vivante les travaux du tronçon italien de 5,8 km. Il évoque les innombrables difficultés surmontées avec inventivité et persévérance par la Società Italiana per Condotte d'Acqua. Les hommes ont dû affronter des venues d'eau jusqu'à 1 000 litres par seconde et des « coups de terrain » terrifiants causés par la décompression brutale de la roche.

L'avancement s'est parfois mesuré en centimètres par jour. Un tronçon de 240 m a nécessité plus de 5 mois de creusement. La température qu'on attendait à 30°C est tombée à 12°C sans qu'on sache très bien pourquoi.

Lors de son inauguration le 19 juillet 1965, c'était le plus long tunnel routier du monde. Aujourd'hui, il est détrôné par le tunnel de Laerdal (24,5 km) en Norvège, le Saint-Gothard (16,9 km) en Suisse, l'Arlberg (14 km) en Autriche, le Fréjus (12,9 km) entre la France et l'Italie et une dizaine d'autres pour la plupart en Chine. En matière de tunnels ferroviaires, on est à une autre échelle, avec, en tête, le tunnel du Seikan (53,9 km) au Japon et le tunnel sous la Manche (50,5 km) entre la France et l'Angleterre.

À la suite de l'incendie de 1999 qui a causé 39 morts, 380 millions d'euros ont été investis pour reconstruire totalement le tunnel, faisant de ce dernier une des références mondiales en termes de sécurité.

## ABSTRACT

### TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE ROAD TUNNEL UNDER MONT BLANC - WORK PERFORMANCE ON THE ITALIAN SIDE

TRAVAUX N°338 - JANUARY 1963

V. SCAVARDA - G.C. MESCHINI

The adventure began in 1946 with a 100-metre reconnaissance gallery on the Italian side. In 1949 an agreement was signed between France and Italy to drill a road tunnel under Mont Blanc, which was ratified in 1953 by the parliaments of both countries. Since 1965, the 11.6-km Mont Blanc Tunnel has connected Chamonix Valley in the Haute-Savoie region and Aoste Valley in Italy. It was built by the companies ATMB (Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc) and SITMB (Società Italiana per il Traforo del Monte Bianco). The works lasted almost twenty years. The article gives a lively description of the work on the 5.8-km Italian section. It mentions the countless difficulties overcome by Società Italiana per Condotte d'Acqua, through inventiveness and perseverance. The workers had to face the ingress of water at up to 1 000 litres per second and terrifying rock bursts caused by sudden decompression of the rock. Work progress was sometimes measured in centimetres per day. A 240-metre section required more than five months of excavation. The temperature, expected to be 30°C, fell to 12°C with no very clear indication why. At the time of its inauguration on 19 July 1965, it was the longest road tunnel in the world. Nowadays, it is surpassed by the Laerdal Tunnel (24.5 km) in Norway, the Saint-Gothard (16.9 km) in Switzerland, the Arlberg (14 km) in Austria, the Frejus Tunnel (12.9 km) between France and Italy and about ten others, mostly in China. Rail tunnels are on quite a different scale, with, topping the list, Seikan Tunnel (53.9 km) in Japan and the Channel Tunnel (50.5 km) between France and England. Following the fire in 1999, which caused 39 deaths, €380 million were invested to rebuild the tunnel completely, making it one of the global benchmarks for safety. □

### TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: EL TÚNEL DE CARRETERA BAJO EL MONT BLANC - REALIZACIÓN DE LAS OBRAS POR EL LADO ITALIANO

TRAVAUX N°338 - ENERO DE 1963

V. SCAVARDA - G.C. MESCHINI

La aventura comenzó en 1946 con una galería de reconocimiento de 100 m por el lado italiano. En 1949 se firmó un acuerdo franco-italiano para la perforación de un túnel de carretera bajo el Mont Blanc, ratificado en 1953 por los parlamentos de los dos países. Desde 1965, los 11,6 km del túnel del Mont Blanc comunican el valle de Chamonix en Alta Saboya y el valle de Aosta en Italia. Fue construido por las empresas Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) y la Società Italiana per il Traforo del Monte Bianco (SITMB). Las obras duraron casi veinte años. El artículo describe de forma dinámica las obras del tramo italiano de 5,8 km. Evoca las innumerables dificultades superadas con imaginación y perseverancia por la Società Italiana per Condotte d'Acqua. Los trabajadores tuvieron que afrontar avenidas de agua de hasta 1.000 litros por segundo y terribles "derrumbes" causados por la brutal descompresión de la roca. A veces, el progreso se medía en centímetros al día. Para la excavación de un tramo de 240 m fueron necesarios más de 5 meses. La temperatura, que se esperaba de 30°C, descendió a 12°C sin una causa conocida. En el momento de su inauguración, el 19 de julio de 1965, era el túnel de carretera más largo del mundo. Actualmente, ha sido destronado por los túneles de Laerdal (24,5 km) en Noruega, Saint-Gothard (16,9 km) en Suiza, Arlberg (14 km) en Austria, Fréjus (12,9 km) entre Francia e Italia y una decena más, la mayoría en China. En materia de túneles ferroviarios estamos a otra escala, encabezados por el túnel de Seikan (53,9 km) en Japón y el que cruza el canal de la Mancha (50,5 km) entre Francia e Inglaterra. Después del incendio de 1999 que causó 39 muertos, se han invertido 380 millones de euros para reconstruir totalmente el túnel, convirtiéndolo en una de las referencias mundiales en materia de seguridad. □

# LE TUNNEL ROUTIER SOUS LE MONT-BLANC (1)

## Exécution des travaux, côté Italie

V. SCAVARDA

Docteur-Ingénieur,

de la Direction du chantier de percement du tunnel du Mont-Blanc de la « Società Italiana per condotte d'acqua ».

Par

et

G.-C. MESCHINI

Docteur-Ingénieur,

Le présent article traite du percement du tunnel du Mont-Blanc du côté italien, sous la signature des deux ingénieurs de la Direction du chantier.

Dans un raccourci chronologique saisissant, les auteurs qui ont entièrement vécu les vicissitudes du percement, montrent à quelles difficultés de toutes sortes : géologiques, hydrogéologiques, climatiques même, on s'est heurté. Les difficultés ont obligé les ingénieurs italiens à reconsidérer plusieurs fois leurs méthodes de travail et à les réadapter d'ailleurs très habilement aux conditions locales soudainement et fréquemment variables.

Leurs équipements légers leur ont permis à cet égard une très grande souplesse de manœuvre et leur ont largement facilité une tâche qui est demeurée cependant très difficile, mais qui aurait pu, avec d'autres moyens moins facilement adaptables, devenir insurmontables.

### THE MONT-BLANC ROAD TUNNEL

*This article, by two Engineers of the Site staff, describes the driving of the Mont-Blanc tunnel from the Italian side.*

*In a short but striking chronological account, the authors, who lived through all the vicissitudes of this achievement, show the difficulties of all kinds — geological, hydrogeological and even climatic — that were encountered on the Italian side. These difficulties compelled the Italian Engineers to re-examine their working methods on several occasions and re-adapt them very cleverly to local conditions, which were subject to sudden and frequent changes.*

*In this respect, the light equipment they used gave them great flexibility of movement and largely facilitated a job which, while still difficult, might have been insuperable if less adaptable plant had been used.*

Le 14 août 1962, à 11 h 30, sautait le diaphragme de roche qui séparait les deux équipes de mineurs, italiens et français.

Simple et solennelle, cette ultime explosion constituait le couronnement du travail exécuté en trois ans et demi, au prix de durs sacrifices.

En cet instant, furent revécus tous les épisodes et toutes les vicissitudes du percement du tunnel d'autoroute le plus long du monde : épisodes et vicissitudes ! car, du côté italien, il s'est agi non pas de creuser un tunnel mais plusieurs tronçons successifs aux caractéristiques géologiques totalement différentes.

Les difficultés imprévisibles rencontrées ont été si nombreuses qu'il a été très souvent nécessaire de réadapter entièrement les méthodes de percement aux particularités de la roche.

### EL TUNNEL DE CARRETERA BAJO EL MONT-BLANC

*El presente artículo trata de las obras de perforación del túnel del Mont-Blanc por la sección italiana, artículo que se debe a dos de los ingenieros que han dirigido estas obras.*

*Según un interesante resumen cronológico, los autores, que han vivido y asistido a las vicisitudes de la perforación del túnel, indican cuáles han sido las dificultades de todas clases — geológicas, hidrogeológicas, e, incluso, climáticas — con que se ha tropezado por la parte italiana. Las dificultades han obligado a los ingenieros italianos a reconsiderar varias veces sus métodos de trabajo y a readaptarlos con gran habilidad y pericia, a las condiciones locales, frecuente y repentinamente variables.*

*A este respecto, sus equipos ligeros les han permitido una gran adaptabilidad de maniobra y les han facilitado una tarea que sigue siendo muy difícil, pero que hubiera podido, utilizando otros medios de menor facilidad de adaptación, llegar a resultar insuperable.*

La façon à la fois la plus impartiale et la plus vraie de décrire le percement du tunnel du Mont-Blanc du côté italien est ainsi d'en rapporter les étapes successives, en rappelant et

en exposant les principaux faits, les méthodes de travail et les résultats obtenus.

Fig. 1. — Percement du Mont-Blanc à Entrèves (Aoste).

Le chantier de la Società Italiana per Condotte d'Acqua : vue extérieure montrant l'entrée du tunnel et le débouché des conduites de ventilation.



### Le percement du tunnel du Mont-Blanc.

#### a) Première année de travail.

Le 8 janvier 1959, dès la commande définitive des travaux par la Société concessionnaire pour le tunnel du Mont-Blanc, les mineurs de la « Società italiana Condotte d'Acqua » attaquent les 5 800 m de galerie qui constituent le tronçon assigné à l'Italie.

(1) Voir l'article concernant « Les travaux exécutés côté France », paru dans notre précédent numéro (décembre 1962).

En premier lieu, on rencontre des schistes calcaires et marneux à travers lesquels, cependant, la progression s'avère encourageante : 8 à 10 m par jour en procédant à pleine section. Pendant l'inévitable période de mise en train, on déblaie chaque jour à l'explosif deux ou trois volées de 4 m chacune.

Le 20 février 1959, lorsque la galerie atteint le P. K. 368,20, de grosses venues d'eau (environ 350 l/s sous forte pression) jaillissent du front d'attaque alors que les ouvriers travaillent au déblai. Il n'est même pas possible de s'approcher du front en raison de la violence de l'eau. Aussi les durées des postes sont-elles réduites à 4 h, mais, la zone cruciale dépassée, le travail de progression peut être repris à plein rendement le 21 mars.

Les difficultés occasionnées par cette importante venue d'eau, qui a été la première surprise désagréable dans les travaux du tunnel, continuent lorsque, le 6 avril 1959, la galerie atteint le P. K. 501.



Fig. 2. — En février 1959, venue d'eau au P. K. 368 : débit 350 l/s environ (1).

Là, soudainement, on rencontre une zone de phyllades carbonneux et il se produit une chapelle, c'est-à-dire un effondrement du ciel de la galerie. Il s'agit de la chute de centaines de tonnes de matériaux sans cohésion, de nature carbonneuse, qui détruit la plate-forme de perforation. En dépit de cela, il a été possible de sauver hommes et matériel. L'effondrement s'étend sur une longueur de galerie de 99 m qui seront franchis grâce à une galerie de faite fortement boisée. Il faudra exactement 100 jours pour percer ce tronçon de galerie et pour l'élargir progressivement jusqu'à la demi-section du tunnel. Des motifs d'indispensable prudence amènent alors à décider de poursuivre l'excavation à demi-section jusqu'à la rencontre du granite, prévue aux P. K. 1,200 à 1,300.

Mais le 12 août, au P. K. 809, la nature de la roche empire inopinément et le ciel de la galerie s'effondre à nouveau. Grâce à la décision précédente de réduire la section de travail, il est possible de faire face à la situation avec un minimum de risques, en dépit du fait que la roche est encore bien plus mauvaise que celle rencontrée au P. K. 501. En fait, il faudra 59 j pour venir à bout d'un tronçon de tunnel d'une longueur de 47 m, au moyen d'une galerie fortement étayée sur toute la longueur de ce tronçon et progressivement élargie jusqu'à la demi-section du tunnel.

Le 10 octobre, la progression normale reprend, toujours à demi-section, et le 7 novembre on atteint le P. K. 1 000.

(1) Documentation photographique « Atlas Copco ».



Fig. 3. — Détail de la galerie fortement boisée, traversant sur 99 m l'éboulement qui détruit la plate-forme de perforation.

Dix mois ont été nécessaires pour réaliser le premier kilomètre, parsemé d'imprévus, de difficultés et de risques.

Le 15 décembre 1959, au P. K. 1 304, on rencontre enfin le granite sous la forme bien connue de la « protogyne » du Mont-Blanc.

A la fin de 1959, la partie initiale du tunnel (55 095 m<sup>3</sup> au total) a ainsi été percée et l'on est sur le point d'attaquer le cœur de l'imposant massif.

### b) Les « coups de terrain ».

Arrivé au granite, au P. K. 1 304, l'avancement est temporairement interrompu. On revient alors au P. K. 501 pour élargir la section de la première phase de déblai et, le 11 avril, les mineurs attaquent le granite à pleine section, avec, derrière eux, un tunnel déblayé en totalité.

Une nouvelle plate-forme roulante pour la perforation, d'un poids de 40 t environ, a été construite entre-temps, et amenée sur les lieux de travail.

Dès les premières volées, une nouvelle menace se dessine : la décompression de la roche qui s'exerce par de véritables « coups de terrain ». Le phénomène est aussi exceptionnel qu'imprévu dans les travaux du tunnel, surtout en raison de

Fig. 4. — Le « coup de terrain ». La galerie perd sa forme circulaire et devient ogivale. Les surépaisseurs correspondantes de maçonnerie atteignent jusqu'à 3 m.

On voit les plaques perforées de piste d'envol ancrées par des boulons à expansion.





la violence avec laquelle il se produit. Les « coups de terrain » se manifestent sur le versant italien du tunnel du Mont-Blanc, à partir du P. K. 1304, par des explosions soudaines, vraiment terrifiantes, et accompagnées de la projection inopinée de blocs ou de plaques de roche, soit du front, soit des piédroits, soit du ciel de la galerie.

La décompression de la roche est si forte que le ciel perd sa forme circulaire et acquiert une forme ogivale. Les surépaisseurs qui en résulteront pour les maçonneries atteindront jusqu'à 3 m.

Pour pallier ces « coups de terrain », on adopte systématiquement le boulonnage du ciel. Au moyen de boulons d'ancrages à expansion de longueur variant entre 1,50 m et 4 m environ, on solidarise entre elles les différentes couches de roche qui se trouvent immédiatement au-dessus du ciel de la galerie, de façon à en empêcher le détachement.

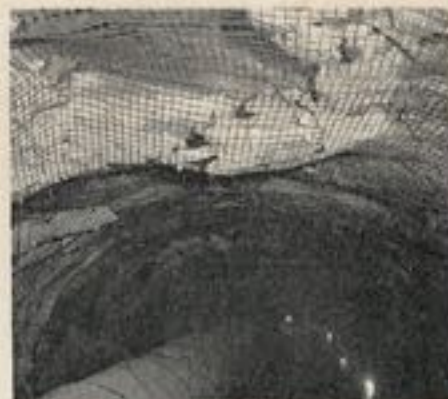
Par la suite, étant donné que les « coups de terrain » se répètent avec une intensité et une fréquence croissantes, il devient nécessaire — pour donner en même temps aux hommes l'indispensable tranquillité d'esprit — de fixer tout d'abord des tôles perforées de pistes d'envol, à l'aide des mêmes boulons, et de revêtir ensuite d'un robuste treillage métallique la voûte entière du tunnel et la partie haute des piédroits en ancrant, au fur et à mesure, le treillage au moyen de boulons. En procédant ainsi, les boulons servent, en quelque sorte, à épingler les différentes couches de roche en équilibre précaire, alors que le treillage retient les parties détachées de cette roche. A partir de ce moment, le treillage de protection accompagnera la progression des mineurs jusqu'à l'étape finale du diaphragme et constituera un essai probant, à grande échelle, d'une nouvelle méthode de soutènement exclusivement métallique dans l'excavation de types particuliers de tunnels. Entre les P. K. 1304 et 5800, on a utilisé 448 000 kg de treillage (non compris les poids des très nombreux boulons et cintres métalliques).

Une autre conséquence fâcheuse des « coups de terrain » est le bouleversement des cycles de travail organisés précédemment. En effet, le programme de déblai dans la masse granitique prévoyait trois cycles de travail par 24 h, avec une progression moyenne de 12 m environ par jour. Dans chaque cycle, l'opération du purgeage (détachement des blocs restés en équilibre instable à la suite de l'explosion) aurait dû être, selon la pratique et étant donné qu'il est exécuté en même temps que le marinage, une opération de durée insignifiante. Contraire-

ment aux prévisions basées sur une expérience normale en matière de tunnel, on n'a pu réaliser en 24 h que 2 volées à l'explosif au maximum, le purgeage ayant exigé en moyenne 5 h 50 mn par volée, avec des pointes maxima, au cours des périodes les plus critiques (mai et juin 1960), de 41 h.

C'est ainsi, en définitive, que s'est comporté le granit tant espéré, la « protogyne » du Mont-Blanc, que l'on croyait pouvoir percer avec assez de régularité en utilisant à plein rendement l'ensemble de l'organisation moderne et hautement mécanisée.

←  
Fig. 5. — Pose de treillage métallique sur la voûte de la galerie. Entre les P. K. 1304 et 5800, 448 000 kg de treillage.



→  
Fig. 6. — Treillage de protection, au toit lourdement chargé de débris rocheux et conduite de ventilation.

En vue de réduire le temps de purgeage et pour pallier les effets de la décompression, on a décidé, en septembre, de creuser une galerie pilote de 15 m<sup>2</sup> de section, précédant de 10 m le déblai à pleine section afin, d'une part, d'explorer la roche et de laisser, en outre, aux « coups de terrain » la possibilité d'amortir leur violence sur une section réduite, plutôt que sur la section entière de déblai du tunnel.

Cependant, en dépit des nombreuses difficultés imprévisibles, on arrive, au cours du mois de juin 1960, à réaliser un bon avancement : 212 m à section complète.

Le P. K. 2492,90 est atteint le 12 décembre 1960 : il a été réalisé un avancement de 1 190,90 m avec un volume de déblais de 131 536 m<sup>3</sup>.

### c) La « milonite ».

Exactement deux ans après le début des travaux, le 8 jan-

Fig. 7. — Front d'attaque au P. K. 3 222,80.

On voit nettement, ici, la roche « milonitisée » d'une dureté particulière, mais fortement fracturée.



vier 1961, les équipes italiennes se trouvent à 2 515 m de l'entrée du tunnel. Tout en présentant les habituels phénomènes de décompression brutale, la roche permet cependant une progression raisonnable. Aussi, pendant les quatre premiers mois de l'année, 600 m environ de tunnel sont-ils creusés à pleine section. Le 28 avril 1961, au P. K. 3 078,40, on entre en contact avec une zone de granit décomposé et « milonitisé », d'une dureté remarquable, qui stoppe d'abord et ralentit ensuite très sensiblement la progression. Le phénomène se manifeste à maintes reprises, avec des éboulements du front d'attaque d'une longueur axiale variable de 2 à 4 m. La présence simultanée d'eau dans un terrain déjà sans cohésion par lui-même augmente l'instabilité de la roche et rend plus difficile et plus longue la traversée de la zone en question.

Les mesures adoptées pour venir à bout de cette difficulté, vraiment exceptionnelle, sont nombreuses et lourdes de conséquences; elles ont consisté à garnir la voûte du tunnel, à mettre en œuvre des cintres métalliques très rapprochés, à exécuter les déblais par tronçons comportant de robustes soutènements en bois et, pour certains de ces tronçons, à utiliser des soutènements métalliques. Dans cette zone, on a dû, par surcroît, revêtir la voûte du tunnel avec du béton armé, immédiatement après le déblai à demi-section, dans des conditions particulièrement pénibles et à un rythme forcément très lent. Le bétonnage des piédroits a enfin été exécuté par tronçons successifs, ce qui a augmenté encore la lenteur du travail.

Pendant la période du 28 avril au 10 octobre, du P. K. 3 078,40 au P. K. 3 318,70, l'avancement journalier ne s'exprime plus en mètres, mais en centimètres! En 5 mois et 10 jours, le tunnel n'a progressé en effet que de 240,30 m. C'est là, sans aucun doute, la pire zone rencontrée durant le percement du tunnel du Mont-Blanc.

Cette zone dépassée, la progression reprend avec une certaine régularité, ce qui permettra de déblayer, en moins de 2 mois, jusqu'à 350 m de tunnel à pleine section. Mais une fois encore, le 10 décembre, au P. K. 3 660, se produit une venue d'eau exceptionnelle, plus de 1 000 l/s, qui envahit la galerie en la recouvrant sur toute sa longueur d'une nappe d'environ 40 cm et en bouleversant, par conséquent, les transports des déblais.

De multiples hypothèses ont été avancées quant à l'origine de cette venue d'eau et des précédentes. On doit constater que, depuis le début de 1961 et contrairement aux prévisions, la température de la roche a continué à baisser, jusqu'à un minimum de 12° C, contrairement à la prévision de quelque 30° C des bureaux d'études. Il est intéressant à cet égard

d'observer le diagramme des températures à l'intérieur de la galerie. Alors que, théoriquement, la température eût dû constamment augmenter jusqu'à 30° C (en correspondance avec l'épaisseur maxima du recouvrement) et dans l'hypothèse d'une roche homogène, les constatations sont en contradiction avec les prévisions. Les températures les plus basses correspondent aux zones les plus bouleversées (phyllades carbonneux, « milonite », etc.

Selon l'explication la plus vraisemblable, le tunnel paraît traverser une zone très imprégnée d'eau de circulation, ce qui a posé de graves problèmes de déblais, étant donné l'impossibilité d'en évaluer l'étendue.

Le gros débit jailli du front d'attaque le 10 décembre s'est stabilisé, vers la fin de l'année, au voisinage de 300 l/s. Ajoutés aux autres 300 à 400 l/s des précédentes venues d'eau rencontrées tout le long du tunnel, ils donnent à l'entrée du tunnel un total d'environ 700 l/s.

Le 31 décembre 1961, on a atteint le P. K. 3 701,50. Dans l'année — marquée par la traversée de la zone « milonitisée » et par d'importantes venues d'eau — on a réalisé au total un avancement de 1 206,60 m correspondant à un volume de déblais de 101 269 m<sup>3</sup>.

### d) Les « records d'avancement ».

Vers la mi-janvier 1962, en dépit des fortes venues d'eau à évacuer depuis le front d'attaque, la roche s'améliore, aussi l'avancement devient-il graduellement satisfaisant.

Pendant le mois de février 1962, l'avancement du tunnel a été de 246 m à pleine section. Il s'agit là de l'avancement mensuel le plus élevé atteint pendant toute la durée de travail sur les deux versants, et, qui plus est, pendant le mois le plus court. L'avancement de février montre clairement l'efficacité des méthodes d'organisation choisies au départ et qui, dans des conditions de roche normales, ont pu mettre en relief toutes leurs possibilités de production.

Au début de mars 1962, lorsque la galerie atteint le P. K. 4 109, la roche manifeste à nouveau des signes de désagrégation, accompagnés par des manifestations accentuées de décompression, surtout sur les piédroits. L'expérience acquise au cours des 3 années précédentes conduit alors à attaquer le reste du tunnel avec une section de 52,60 m<sup>2</sup> au lieu de 75,38, de façon à limiter les risques de la décompression et garantir ainsi la continuité de l'avancement. Cette décision s'est, à la lumière des résultats obtenus, révélée sage et avantageuse.

Fig. 8. — Venue d'eau exceptionnelle au P. K. 3 660; débit 1 000 à 1 100 l/s.



Fig. 9. — Le tunnel inondé par une nappe d'eau de 0,4 m, après la venue d'eau.



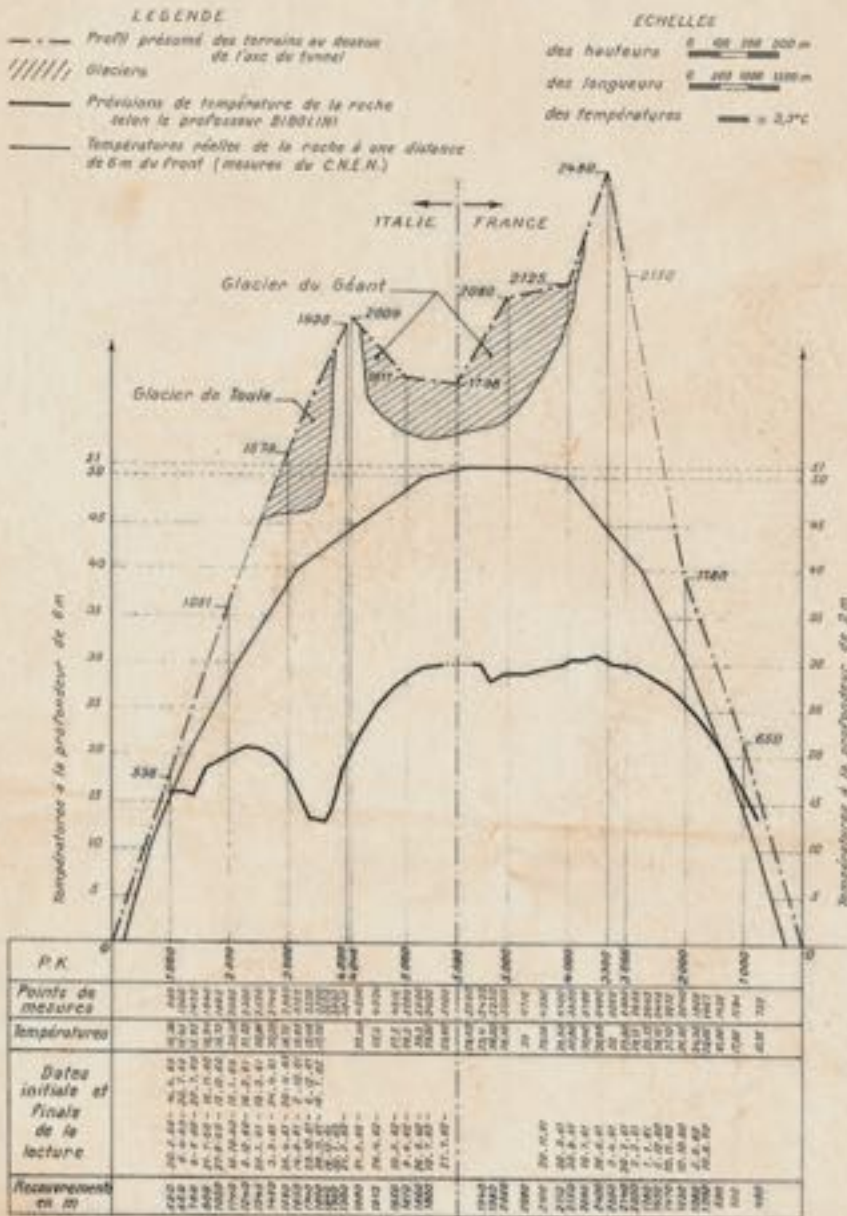


Fig. 10. — Etude thermique du percement du Mont-Blanc.

Le 5 avril 1962, alors que la galerie arrive au P. K. 4417, c'est-à-dire à 1383 m du point de rencontre avec l'équipe française, trois avalanches s'abattent successivement sur les installations de surface du chantier, semant débris et ruines : 3 ouvriers sont tués, 30 personnes sont blessées et une dizaine de constructions en maçonnerie et en bois sont détruites.

Malgré le bouleversement dû à cette catastrophe, le personnel du chantier s'est rapidement ressaisi et, après quelques jours seulement, le travail a repris à un rythme encore plus intense. En avril 1962, l'avancement atteint ainsi 255,60 m. En mai, l'avancement est de 317,60 m; le but est désormais en vue. En juin, l'avancement est de 404,80 m, avec des pointes de 17,80 m/j, et, en juillet, de 407 m. Le P. K. 5800, où se termine le tronçon italien du tunnel du Mont-Blanc — mi-chemin exact du plus long tunnel d'autoroute du monde — est atteint par les mineurs de la « Société Italienne Condotte d'Acqua », à 22 h 01, le 3 août 1962.

1962 aura été l'année de la progression record, aussi bien à pleine section de tunnel qu'à section réduite de 52,60 m<sup>2</sup>. En 7 mois seulement, 2 059,50 m de tunnel ont été percés pour un volume de déblais de 130 970 m<sup>3</sup>, achevant ainsi, par des

résultats remarquables la partie la plus difficile d'un grand ouvrage.

**Le matériel.**

En 3 ans et 7 mois, 5 800 m de galerie ont été percés avec un volume total de déblais de 440 870 m<sup>3</sup>. Le choix initial des installations et des engins pour la perforation, le marinage et l'évacuation de la roche déblayée, soigneusement étudié, s'est montré satisfaisant à la lumière de l'expérience.

La nature variable — bien qu'elle n'ait pu être prévue à l'avance — de la roche rencontrée sur le versant italien a imposé l'adoption de méthodes d'une souplesse extrême que, seuls, les moyens choisis ont rendu possibles. En outre, lorsque la roche a présenté des conditions presque normales, comme en 1962, ces mêmes moyens ont permis des progressions exceptionnelles pendant des périodes prolongées.

Dans le tableau ci-contre, on a reporté les temps exceptionnellement réduits du cycle d'une volée, effectuée sur une section de 52,60 m<sup>2</sup>. Le diagramme a) représente la durée totale du cycle, moyenne du mois de juillet 1962. Le diagramme b) représente la durée totale du cycle, moyenne des volées du 29 juin 1962, jour où l'on a réalisé la progression la plus importante (17,80 m).



Fig. 11.

A) Durée totale du cycle de la volée; moyenne de toutes les volées de juillet 1962.  
B) Durée totale du cycle de la volée; moyenne des 4 volées du 29-6-62, jour où a été réalisé l'avancement maximum journalier (section de la galerie : 52,60 m<sup>2</sup>).

a) L'outillage de perforation.



Depuis le début des travaux, il a été adopté, pour le percement du tunnel, un outillage de foration d'une souplesse d'emploi toute particulière. On disposait à l'origine de 15 + 18 marteaux « Atlas Copco », type Tigre,

Fig. 12. — Marteau perforateur « Atlas Copco », type Tigre, monté sur poussoir pneumatique rétractable.

de 27 kg, montées sur poussoir pneumatique et réparties sur les quatre étages de la plate-forme de foration, montée sur rails, et qui travaillaient sur la totalité de la section du front d'attaque.

Les caractéristiques d'adaptabilité toutes particulières du système se sont montrées vraiment opportunes étant donné la nature très variable des roches rencontrées.



Fig. 14. — Plate-forme de perforation à 4 étages montée sur poutres (poids : environ 40 t).

A maintes reprises, on a dû modifier la méthode de déblai et passer de l'attaque à pleine section (86 m<sup>2</sup>) au déblai de la seule voûte du tunnel sur 50 m<sup>2</sup>, ainsi qu'au déblai avec galerie de reconnaissance de 9 m<sup>2</sup> et élargissements successifs.

Après la destruction de la première plate-forme de perforation, du P. K. 501 au P. K. 1300 environ, le déblai sur les 50 m<sup>2</sup> de la voûte du tunnel a dû être exécuté avec deux petites plates-formes roulantes à deux étages, montées sur des tracteurs à chenilles et travaillant côte à côte.

Six perforatrices Tigre, montées sur poussoirs pneumatiques, étaient réparties sur les plate-formes tandis que quatre autres travaillaient à terre.

A partir du P. K. 1304, où l'excavation a repris à pleine section, on utilisa une nouvelle plate-forme roulante à quatre étages, montée sur pneus et d'un poids d'environ 40 t.

Les déplacements de cette plate-forme étaient effectués à l'aide d'un tracteur à trois essieux, muni de six vérins hydrauliques qui



Fig. 13. — Marteaux perforateurs pneumatiques légers « Atlas-Copco », utilisés pendant toute la durée des travaux par l'Entreprise Italienne.

soulevaient la plate-forme. Afin de permettre au tracteur de se placer sous la plate-forme, le premier étage de celle-ci était relevable.

La nouvelle plate-forme roulante pour le déblai à pleine section portait 28 perforatrices « Atlas Copco », type Lion, de 30 kg, montées sur poussoirs pneumatiques réversibles, avec dispositifs de commande réunis dans la poignée.

Avec les perforatrices, on a utilisé des fleurets « Sandvik Coromant », à taillants garnis de plaquettes de carbure de tungstène. Les dimensions les plus employées étaient : 2400 × 37 et 4800 × 35; section de la tige, 1".

Les 124 trous de mine de chaque volée étaient répartis sur toute la section et chargés avec différents explosifs : plastic A, plastic B et, principalement, G D 1° M. T. Les charges étaient amorcées par des détonateurs électriques à micro-retards. Chaque volée de ce type abattait jusqu'à 1000 t environ de roche du front d'attaque. Le schéma d'une volée est donné sur la figure ci-contre.

Fig. 15. — Tracteur à 3 essieux avec 6 vérins hydrauliques pour soulever la plate-forme de perforation en vue de son déplacement.



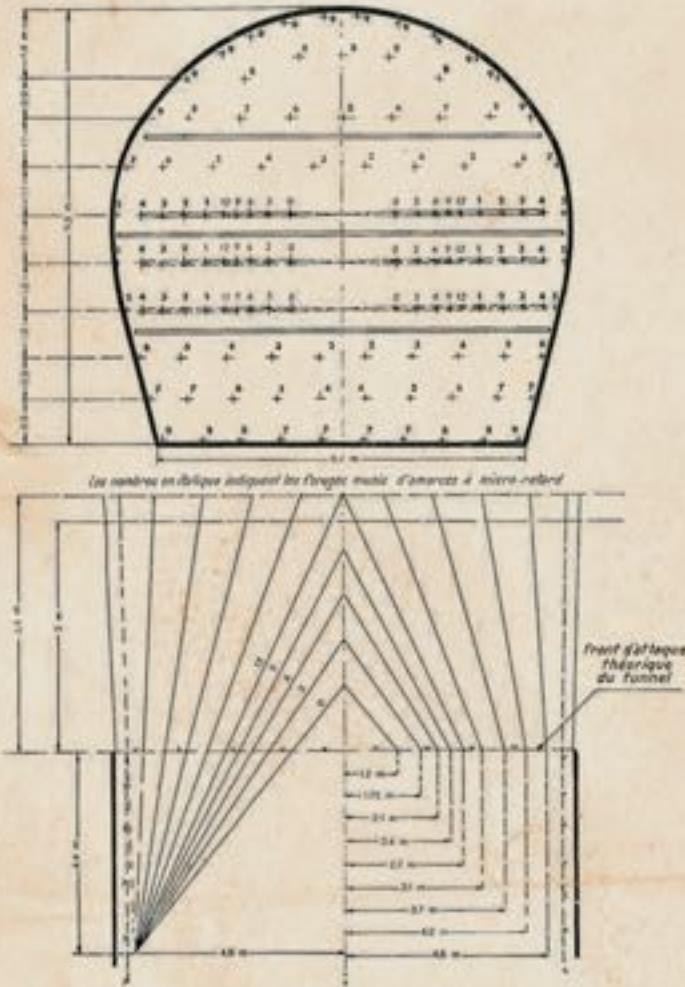


Fig. 16. — Méthode d'avancement en roche compacte. Schéma de perforation et succession des tirs de la volée.

Section .....	82 m <sup>2</sup>
Longueur des trous .....	5,6 m
Longueur de l'avancement prévu .....	5,0 m
Volume de roche déblayée .....	410 m <sup>3</sup>
Nombre des forages .....	124
Longueur totale des forages .....	643 m
Poids d'explosif .....	484 kg
Longueur de forages par mètre cube de déblai ..	1,57 m
Consommation d'explosifs .....	1,76 kg/m <sup>3</sup>
Consommation d'explosifs (en kilogramme par mètre de forage) .....	0,75

Fig. 17. — Benne de transport de déblais « Moncalvi » avec tracteur Diesel à moteur « Alfa Romeo » de 150 ch.



### b) Chargement et transport des déblais.

Le chargement de la roche abattue a été effectué au moyen de deux pelles mécaniques sur chenilles « Eimco » 105, pourvues d'un moteur Diesel de 125 ch environ, avec godet de 1,2 m<sup>3</sup>.

Pour le marinage, on a préféré des véhicules sur pneus d'une capacité importante, aux transports sur rails, car ils permettent une plus grande autonomie et une plus grande souplesse d'emploi.

En cas de panne, les véhicules sur pneus sont en effet aisément remplaçables; ils peuvent rouler sur des sols inégaux, sur lesquels la pose des rails pour trafic lourd est difficile, et ils permettent de franchir des déclivités importantes.

Pour le tunnel du Mont-Blanc, il a été étudié, et fabriqué spécialement en Italie par la Société Moncalvi, des engins articulés composés d'un tracteur à moteur Diesel 150 ch « Alfa Romeo », à quatre roues motrices, sur pneus, et d'une remorque également sur pneus, à basculement vers l'arrière, capable de transporter 10 à 12 m<sup>3</sup> de déblais. Cet ensemble articulé pouvait manœuvrer et virer aisément dans la largeur de 6,50 m du plan de travail du tunnel.

### c) Dégagement et soutènement provisoire.

Le tir achevé, on approchait sans délai du front la plate-forme à partir de laquelle on purgeait les parois. Puis, on procédait aussitôt au boulonnage des parois et à la pose du treillage métallique : fin d'atténuer les effets des « coups de terrain ». En fait, il n'était pas rare que, même après le boulonnage, des plaques et des blocs de roche se détachent du ciel du tunnel. Le treillage suffisait alors à retenir les morceaux de roche détachés et à éviter des accidents. Périodiquement, une équipe de mineurs débarrassait le treillage de protection des matériaux détachés qui s'y étaient accumulés.

### d) Mise en œuvre du béton.

A l'origine des travaux, la mise en œuvre du béton de revêtement était effectuée par un ensemble composé d'un train de bétonnage et d'un chariot porte-coffrages. Le train de bétonnage amenait les dispositifs de mise en œuvre du béton à l'arrière des coffrages en acier repliables qui couvraient successivement des anneaux complets de 10 m de revêtement, comprenant les piédroits et la voûte. Dès qu'un anneau de béton était suffisamment durci, le chariot servait à démonter

Fig. 18. — Train bétonneur pour la mise en œuvre du béton de revêtement.





les coffrages et à les transporter à l'anneau suivant. Le chariot était composé d'un fort plateau en acier de 10 m sur 4, se déplaçant sur rails à l'aide d'un moteur à air comprimé.

Par la suite, au contraire, le bétonnage des piédroits a été



↑  
Fig. 19. — Plate-forme portant des coffrages repliables pour le revêtement en béton de la voûte du tunnel.



←  
Fig. 20. — Conduites de ventilation de 2 m et 2,50 m de diamètre.

effectué avant celui de la voûte, et cette manière de procéder a été conservée. Le chariot porte-coffrages utilisé est plus léger; il transporte seulement les coffrages des piédroits qu'il soulève au moyen de treuils à air comprimé. Le béton est monté et coulé à l'arrière du coffrage par des élévateurs à godets et compacté à l'aide de pervibrateurs et de vibrateurs de parois, actionnés par l'air comprimé.

En ce qui concerne le bétonnage de la voûte du tunnel, on utilise toujours le chariot porte-coffrages précédé. Le chariot est précédé par un autre engin en forme d'échafaudage tubulaire mobile, qui porte la pompe à air comprimé pour la mise en œuvre du béton et le tuyau de déversement de celui-ci.

### e) L'installation de ventilation.

L'installation de ventilation, conçue pour assurer une ventilation satisfaisante, depuis l'entrée du tunnel jusqu'au P. K. 5 800, a été spécialement étudiée et présente des caractéristiques techniques tout à fait exceptionnelles pour des travaux de percement de tunnel.



Fig. 21. — Centrale de production d'air comprimé comportant 10 compresseurs « Atlas Copco » AR 4 de 25 000 l/mn chacun.

L'installation est conçue de façon à pouvoir aspirer et refouler. Elle comprend deux conduites de 2 m et de 2,50 m de diamètre, suspendues à la voûte du tunnel. Les débits des deux conduites sont respectivement de 200 000 et 300 000 m<sup>3</sup>/h, soit 500 000 m<sup>3</sup>/h (138 m<sup>3</sup>/s) au total.

Trois turbogroupes de 360 ch chacun soufflent ou aspirent dans la conduite de 2 m de diamètre et trois turbogroupes de 540 ch chacun dans la conduite de 2,50 m.

La puissance totale des groupes est de 2 700 ch. La pression des ventilateurs est de 270 mm d'eau.

### f) La distribution de l'air comprimé.

L'air comprimé destiné à alimenter un grand nombre de machines et outils à l'intérieur du tunnel et, par exemple, les perforatrices, les pompes à béton, les moteurs et les treuils du chariot porte-coffrages, les pompes d'épuisement, les lampes (à dynamo) du front d'attaque, des appareils de ventilation, etc., a été produit par une centrale à 10 compresseurs « Atlas Copco » type AR4, d'un débit de 25 000 l/mn chacun, actionnés par des moteurs électriques de 210 ch.

Parfaitement équilibrés, les compresseurs, du type à châssis, sont montés sur des traîneaux reposant sur des couches de sable, de façon à absorber les vibrations.

La centrale était disposée de façon à en permettre l'extension éventuelle en augmentant le nombre des compresseurs en fonction des besoins éventuels du chantier.

La conduite de sortie de la centrale a un diamètre de 300 mm.

### g) Installation de concassage et de bétonnage.

A quelques mètres de l'entrée du tunnel, se dressent l'installation de concassage et criblage des agrégats et la centrale de bétonnage avec deux bétonnières de 1 m<sup>3</sup> chacune.

Actuellement, les agrégats à béton sont préparés à partir du granite déblayé. A l'origine des travaux, alors que le déblai concernait les 1 300 premiers mètres environ de roche calcaire non utilisable pour la préparation des différents bétons, les agrégats ont été pris dans les carrières et sablières de la région.

L'installation de concassage comprend, après une trémie d'alimentation de 10 m<sup>3</sup>, un transporteur à plaques métalliques (débit : 150 m<sup>3</sup>/h) qui alimente un concasseur à mâchoires débitant jusqu'à 50 m<sup>3</sup>/h.

Un élévateur à godets transporte le matériel concassé à un crible vibrant à deux étages, qui sépare la classe 0-30 de la classe 30-60; un transporteur à courroie amène ensuite la classe 0-30 à un autre crible vibrant à deux étages, qui sépare les classes 0-4, 4-15 et 15-30.

Les quatre classes de matériaux sont stockées dans quatre silos de 160 m<sup>3</sup>, d'où elles sont déversées par des vannettes pneumatiques de fond.

Le concassage secondaire en gravier et en sable est effectué par une batterie de concasseurs secondaires formée de :

- 2 concasseurs à mâchoire de 9 m<sup>3</sup>/h;
- 1 concasseur à mâchoires de 4 m<sup>3</sup>/h;
- 1 concasseur à cône de 6 m<sup>3</sup>/h;
- 1 broyeur à barres de 3 m<sup>3</sup>/h et 1 broyeur à anneaux de 8 m<sup>3</sup>/h maximum.

Les installations de préparation du béton ont été construites compte tenu des conditions climatiques particulières du chantier; pour cette raison, l'étage supérieur de l'installation de concassage a été muni d'un sécheur du matériau à 0-30, et autour des silos un revêtement clos permet, grâce à un chauffage à vapeur, de protéger les matériaux stockés contre le gel.

Deux silos cylindriques à ciment de 300 tonnes chacun sont disposés à côté de la centrale de bétonnage; ils sont chargés par des pompes à air comprimé.

La centrale de bétonnage comporte, outre 2 bétonnières de 1 m<sup>3</sup>, 4 silos horaires à agrégats, un silo horaire à ciment, le réservoir d'eau, les doseurs automatiques en poids des agrégats, du ciment et de l'eau.

Des doseurs en poids, le mélange agrégats-ciment peut passer soit aux bétonnières proprement dites pour la confection du béton à la centrale même, soit à des bétonnières automobiles spéciales qui reçoivent le mélange sec effectué préalablement et le malaxent pendant le trajet jusqu'au lieu d'utilisation.

Cette seconde méthode est utilisée pour que, même avec

les avancements les plus importants, la durée du gâchage du béton ne dépasse pas les limites techniquement convenables.

L'installation pour la confection du béton a un débit horaire de 25 m<sup>3</sup>.



Fig. 22. — Installation de concassage et criblage des agrégats et centrale à béton.

#### h) Autres installations.

Près de l'entrée du tunnel, se trouve la cabine électrique de transformation, à laquelle arrive, par une ligne extérieure, le courant à 12 000 V, abaissé ensuite à 220 V, pour l'alimentation des moteurs électriques travaillant à l'extérieur.

La puissance totale installée du chantier est de 4 500 kVA.

V. SCAVARDA et G.-C. MESCHINI.

Fig. 23. — Le 14 août 1962, à 11 h 30, le diaphragme de roche séparant les mineurs italiens de leurs collègues français vient de sauter.

