Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 106 (1980)
Heft: 18: SIA, no 4, 1980

Artikel: Le tunnel routier du Saint-Gothard
Autor: Hürlimann, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73976

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

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

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

Download PDF: 09.12.2025

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

Le tunnel routier du Saint-Gothard

De temps immémorial, le Gothard a été le passage principal et central des Alpes, pour notre pays et l'Europe. Il relie directement les régions les plus peuplées et les plus industrialisées du nord de la Suisse avec la partie méridionale du pays; il constitue en outre une remarquable voie européenne de circulation à grande distance qui pénètre, au nord, les régions industrielles hautement développées du nord-ouest de l'Europe et de la Scandinavie et, au sud, l'Italie avec la vaste plaine du Pô.

Les origines du passage sur le Gothard se perdent dans la légende; la traversée des Alpes à cet endroit a connu une destinée mouvementée, depuis le sentier muletier primitif et périlleux jusqu'à la route carrossable franchissant le col. Pour la Suisse toutefois, ce fut une mission historique que de construire et de consolider cette voie commerciale directe par-dessus les Alpes, et de fournir de la sorte l'instrument d'intenses échanges entre le nord et le sud de l'Europe. Cette mission, nos ancêtres s'en étaient déjà acquittés en aménageant la voie ferrée du St-Gothard de manière à la rendre praticable toute l'année. Cet ouvrage admirable au service du rail continuera à jouer son rôle de premier plan, parallèlement à la route.

L'avènement de la voiture dans la première moitié de notre siècle a donné une importance nouvelle au Gothard, pour le trafic nord-sud suisse et européen. C'est pourquoi, à plusieurs reprises, la route du St-Gothard a été développée. A chaque fois cependant, les exigences de la vie moderne ont rendu des réalisations désuètes en peu de temps. Il a fallu en venir à l'arrêté fédéral prévoyant le réaménagement de la voie comme route nationale et autoroute, et le percement d'un tunnel traversant le St-Gothard, pour donner à cette importante liaison routière sa forme optimale. La route nationale N2 et le tunnel routier confèrent au St-Gothard une nouvelle dimension.

Ce tunnel est un ouvrage d'art monumental. L'élaboration des plans, et plus encore la longue phase de la construction, ont fait surgir des problèmes multiples et imprévus. L'article que voici en résume les péripéties. Nombreux sont ceux qui ont contribué à la réussite du percement: les autorités des cantons d'Uri et du Tessin et celles des communes intéressées, les ingénieurs responsables des plans et des travaux qui ont imprimé leur conception à l'ouvrage et, enfin, les entrepreneurs et leurs équipes, qui ont finalement créé le tunnel. L'ouvrage achevé est le témoignage éclatant de leur art. Ils ont tous droit à notre reconnaissance. Puisse ce chef-d'œuvre de la technique avoir des effets bénéfiques et contribuer à consolider l'entente et les relations d'amitié qui unissent les peuples vivant en bordure de cette voie de circulation, de part et d'autre de la frontière.

Le chef du Département fédéral de l'intérieur,
le conseiller fédéral Hans Hürlimann.

1. Du sentier alpestre à l'autoroute

Divers noms romains et objets trouvés en Léventine et dans la vallée d'Urseren prouvent bien que la région du Gothard et son col étaient déjà connus des Romains. Cependant, la gorge escarpée des Schöllenen formait de tout temps une barrière infranchissable pour passer le Gothard. On l'évitait à l'époque par un chemin fort difficile passant sur le Bäzberg. Sa renommée de plus courte liaison nord-sud ne fut cependant établie que bien plus tard, lorsque entre 1218 et 1226 il fut possible de franchir les Schöllenen par le «Twärrenbrücke», une passerelle de bois suspendue à des chaînes le long de la paroi rocheuse du «Kirchbergfels», et de passer sur le premier pont du Diable, en bois, appelé «stiebender Steg». C'est par l'ouverture des Schöllenen que les territoires avoisinants de la région du Gothard prirent une importance d'ordre politique beaucoup plus grande. L'origine de la Suisse est étroitement liée au franchissement du Gothard.

Le 24 août 1230, l'évêque de Milan dédia une petite chapelle de l'hospice déjà existant à Saint Godehardus de Bavière. La première traversée notoire du Gothard en tant que passage entre l'Italie et l'Allemagne date de 1236. Par la suite, cette route devint intensivement utilisée par toutes sortes de gens: pèlerins, montagnards, marchands, courriers et soldats. Le Gothard devint en peu de temps une véritable route des peuples d'Europe.

En 1595, le vieux pont du Diable, en bois, fut remplacé par un pont à arche en pierre. En 1615 fut inauguré le premier service de courrier pédestre par le Gothard, de Zurich à Bergame. En 1707, l'architecte tessinois Pietro Morettini fit percer en lieu et place du vieux «Twärrenbrücke» le trou d'Uri (Urnerloch) à travers la roche du «Kirchbergfels». Il avait créé ainsi le premier tunnel routier alpin du monde. En 1775, un original anglais, le minéralogiste Gréville, ouvrait à sa façon, de manière remarquable, une nouvelle époque: il fut le premier homme à franchir le Gothard avec son char, 55 ans avant que le chemin soit rendu carrossable! Il dut cependant démonter maintes fois son véhicule et le faire porter aux passages difficiles.

Entre 1805 et 1830 la route du Gothard fut refaite et rendue carrossable sur toute sa longueur. Le cavalier postal fut remplacé par un service de diligences qui pouvait transporter des passagers. La grande épopée de la poste du Gothard débuta en 1842. Un trafic quotidien instauré dans les deux sens par des diligences à 10 places avec un attelage de cinq chevaux. En 1872 débuta une nouvelle époque avec la construction du tunnel ferroviaire du St-Gothard. Louis Favre se mit à l'œuvre avec ardeur. Plus de 4000 ouvriers participèrent à ce gigantesque travail. 177 y perdirent la vie. L'ouvrage fut terminé en 1882. La fête officielle de la mise en service eut lieu le 1er juillet. Le chemin de fer retira cependant peu à peu aux vallées d'Uri et de la Léventine ainsi qu'au plateau d'Urseren leurs avantages stratégiques pour les services de transport. L'importance de la route diminua brusquement.

Au début du 20e siècle, l'essor de l'automobile lui redonna une nouvelle importance. Dès 1906, la route du col du Gothard fut ouverte au trafic des voitures automobiles, à certaines périodes précises de la journée. Ce n'est qu'après la deuxième guerre mondiale que le trafic routier se développa à un rythme effréné. La route fut transformée à maintes occasions pour s'adapter à la croissance constante du trafic. Mais tous les efforts entrepris ne pouvaient éviter certains inconvénients inhérents à ce type classique de voie de communi-

Le trou d'Uri, le plus vieux tunnel routier alpin du monde, fut percé en 1707 par le tessinois Pietro Morettini. Il fut dès lors possible d'éliminer un des passages les plus critiques de la route du Gothard, le «Twärrenbrücke», passerelle de bois suspendue contre la roche du Kirchbergfels dans les Schöllenen.

Le trafic au Gothard durant les siècles

1218/1226
Franchissement des Schöllenen par le «Twärrenbrücke», une passerelle de bois de 60 mètres de longueur, suspendue à des chaînes le long de la paroi rocheuse du «Kirchbergfels», ainsi que par le premier pont du Diable, en bois, appelé «stiebender Steg», sur la Reuss.

1230
Le 24 août l'évêque de Milan consacre la chapelle de l'hospice, au sommet du col, en l'honneur du Saint Godehardus de Bavière.

1236
Première traversée notoire du Gothard en tant que passage entre l'Italie et l'Allemagne: Albrecht von Stade, un abbé bénédictin de l'évêché de Brême, choisit cette route à l'occasion du retour d'un voyage de pélerinage de Rome en Allemagne

1550
Le chemin à flanc de coteau du Monte Piottina est aménagé et en partie refait. Dix ans plus tard ce chemin est remplacé par la Biaschina.

1595
Construction du nouveau pont du Diable, un ouvrage à arche exécuté en pierre. Il servit jusqu'en 1830 et s'écroula en 1888.

1615
Le 5 octobre est inauguré le premier service de courrier pédestre par le Gothard, de Zurich à Bergame, par les frères Hess de Zurich.

1707
L'architecte tessinois Pietro Morettini fait percer, en lieu et place du vieux «Twärrenbrücke», le trou d'Uri (Urnerloch) à travers la roche du «Kirchbergfels». Ce premier tunnel routier alpin a 61 m de long et coûte 8149 florins.

1775
Le minéralogiste anglais Gréville franchit le premier le Gothard avec un char, 55 ans avant que le chemin soit rendu carrossable! Aux endroits les plus difficiles, il fait démonter et porter le véhicule par étapes.

1799
Le Gothard devient le théâtre d'opérations de guerre: L'armée russe, sous les ordres du général Souvarov, franchit le col en 1799. Le pont du Diable fut le lieu d'une bataille entre les Russes et les Français. Le pont est fortement endommagé.

1805/18
Le canton du Tessin construit par étapes la nouvelle route du Gothard, de Chiasso à Giornico.

1818
Le 3 mai, la Landsgemeinde du canton d'Uri décide d'entreprendre la construction de la route Amsteg-Göschenen. Ces travaux se terminent en 1824.

1828/30
Sous la direction de Karl Emanuel Müller, on construit, de Göschenen à Hospental, la nouvelle liaison routière à travers les Schöllenen et on érige le nouveau pont du Diable. L'ingénieur tessinois Colombara, mandaté par le canton d'Uri, réalise la partie de la route du col reliant Hospental à la frontière cantonale. C'est en même temps que sont construits, sous la direction de l'ingénieur Meschini, les passages de la Biaschina, du Monte Piottino et de la Tremola, entre Giornico et la frontière cantonale.

1830
Ouverture de la route du Gothard, reconstruite sur toute sa longueur. La diligence postale relie, trois fois par semaine, Fluelen à Chiasso. Dorénavant des passagers peuvent participer à ces voyages.

1842
Début de la grande épopée de la poste du Gothard. Entre Fluelen et Chiasso, en été, un trafic journalier est instauré dans les deux sens par des diligences à 10 places avec attelage de cinq chevaux chacune. En hiver, ces dernières sont remplacées par des colonnes de traîneaux attelés.

1844
Percement de la gorge de Stalvedro sous Airolo.

1848
La poste devient l'affaire de la Confédération. Le voyage de Bâle à Milan dure maintenant 49 heures et 25 minutes.

1866
Ouverture de l'hôtel Monte Prosa, au sommet du col du Gothard.

1872
L'Europe et la fièvre des chemins de fer: on construit la ligne du Gothard. Le 13 septembre commencent les travaux de construction, sous la direction de Louis Favre, du tunnel ferroviaire du St-Gothard.

1875
72 030 voyageurs franchissent le col avec la poste du Gothard au cours de cette année, record absolu durant l'existence de cette institution.

1880
Le 29 février, le tunnel ferroviaire est percé. Louis Favre n'a pas la chance de vivre ce grand événement. Il meurt le 19 juillet 1879 d'une attaque, dans le tunnel.

1882
Le 1er janvier, le trafic ferroviaire à travers le tunnel débute provisoirement sur une voie. Le 1er juillet a lieu la fête officielle de la mise en service. Le temps du voyage du Lucerne à Chiasso est de 7 heures et 25 minutes. Le service de la poste du Gothard est interrompu.

1904
La plus grande partie de la ligne du Gothard, de Goldau à Chiasso, est réaménagée à double voie.

1906
La route du col du Gothard est ouverte au trafic des voitures automobiles, mais seulement à certaines périodes précises de la journée.

1909
Un service de diligences postales est remis en service durant l'été entre Andermatt et Airolo. Il ne s'agit plus cependant que d'une attraction touristique locale. C'est en automne 1921 que la dernière diligence postale franchit le col.

1920
Le tronçon Erstfeld-Biasca du chemin de fer du Gothard est électrifié.

1953
Le canton d'Uri reconstruit la route des Schöllenen et celle du col jusqu'à la frontière cantonale, selon les normes des routes nationales de 3e classe. Réalisation du nouveau pont du Diable.

1954
Les CFF organisent un trafic régulier de trains-autos, de Göschenen à Airolo, chargés de transporter les voitures durant l'hiver et les périodes de pointe.

1962
Le canton du Tessin construit la nouvelle route du col du Gothard de la frontière cantonale à Motto Bartola, et, depuis 1972, de Motto Bartola à Airolo.

cation, tels que des pentes irrégulières et trop fortes parfois, des chaussées étroites, des ponts trop faibles, des gabarits d'espace libre trop bas ou trop étroits et des virages trop serrés. C'est de ce type de problèmes que l'idée fondamentale du réseau des routes nationales est née.

Avec la construction de l'autoroute N2 et du tunnel routier, le Gothard pourra prétendre une nouvelle fois à la place dominante qu'il a eue au cours des siècles parmi l'ensemble des liaisons européennes nord-sud.

2. Préliminaires, études générales et projet du tunnel routier du St-Gothard

C'est en automne 1954 que débutèrent les travaux de la commission du Département fédéral de l'intérieur pour la planification du réseau des routes nationales. Ce dernier fut accepté par les Chambres fédérales en 1960. Le tunnel routier du St-Gothard n'y était pas encore inclus à l'époque. C'est au cours de cette même année cependant, à savoir le 23 mars au Conseil National et le 8 juin au Conseil des Etats, qu'une motion fut présentée demandant au Conseil fédéral d'entreprendre immédiatement les études nécessaires pour juger de l'opportunité de la réalisation d'un deuxième tunnel du St-Gothard praticable durant toute l'année, pour le trafic routier.

C'est à cette occasion que fut créé le «groupe d'études pour une liaison routière praticable en hiver à travers le St-Gothard» qui travailla sous la direction du Service fédéral des routes et des digues. La commission livra son rapport détaillé en 1963 et sa proposition fut ratifiée en 1965 par le Conseil fédéral et le parlement: le tunnel routier du St-Gothard fut ainsi inclus dans le réseau des routes nationales. Un concours de projets entre quatre bureaux d'études désignés fut ensuite organisé pour déterminer la solution la plus avantageuse de l'ouvrage projeté entre Göschenen et Airolo. 16 variantes de projets furent élaborées à cette occasion. Deux d'entre elles furent retenues et mises en soumission conjointement en 1968.

Sur la base des offres d'entreprise reçues, la commission de construction fit son choix et décida de réaliser la solution actuelle avec 4 puits de ventilation. C'est après l'intervention du Touring-Club de Suisse et de l'Automobile-Club de Suisse que le Conseil fédéral décida de demander aux cantons de construire aussi une galerie de sécurité parallèle au tunnel.

Historique de la naissance et de la réalisation du tunnel routier du St-Gothard

Automne 1954
Mise sur pied de la commission du Département fédéral de l'intérieur pour la planification du réseau des routes nationales.

23 mars 1960
Motion au Conseil national.

8 juin 1960
Motion au Conseil des Etats.
Les deux motions visaient à promouvoir les travaux du «groupe d'études pour le tunnel du Gothard».

9 avril 1960
Début des travaux du «groupe d'études pour le tunnel du Gothard» sous la direction du Service fédéral des routes et des digues. Ce groupe d'études proposa au Département fédéral de l'intérieur, sur la base de nombreuses études et recherches techniques, économiques et de politique des transports, la construction d'un tunnel routier de Göschenen à Airolo.

21 juin 1960
Ratification des chambres fédérales définissant le réseau national des autoroutes suisses.

Septembre 1963
Remise du rapport «liaison routière praticable en hiver à travers le Gothard» par le groupe d'études pour le tunnel du Gothard.

25 juin 1965
Les chambres fédérales entérinent, sur proposition du Conseil fédéral, la proposition d'inclure le tunnel routier du St-Gothard dans le réseau des routes nationales. Formation ensuite d'une «commission de construction du tunnel routier du St-Gothard», en tant qu'organe mandataire du Service fédéral des routes et des digues ainsi que des deux cantons d'Uri et du Tessin, chargé des tâches suivantes:
— Etablissement d'un avant-projet
— Etablissement du projet de construction général et préparation des soumissions.
— Projet de détail.
— Surveillance des travaux.

15 mai 1968
Ratification du projet général par le Conseil fédéral. Deux variantes sont retenues:
— projet à quatre puits
— projet à deux puits et galerie latérale pour l'amenée d'air frais.

Les deux solutions découlaient d'un concours de projets organisé par la commission de construction et représentaient chacun deux bureaux d'études renommés de Suisse allemande et du Tessin. Les projets correspondaient aux exigences requises et présentaient tous deux certains avantages et certains inconvénients. Les coûts estimés étaient d'autre part si proches que seule une mise en soumission des deux variantes pouvait finalement les départager.

Mai 1968
Ouverture de la soumission. Les entreprises invitées étaient tenues de présenter, pour les deux solutions, l'offre complète d'une sous-variante avec attaque intermédiaire par le puits de Hospental (pour les lots nord et sud). Il leur était laissé à choix d'offrir, pour les deux projets, une variante sans attaque intermédiaire et pour la solution à quatre puits un creusement avec machine foreuse. Toute autre proposition pouvait aussi se faire.

31 octobre 1968
Remise des offres.

22 mai 1969
Rapport et proposition de la commission de construction du St-Gothard au Département fédéral de l'intérieur et aux gouvernements des cantons d'Uri et du Tessin concernant le choix du projet à exécuter et l'adjudication des travaux de construction.

2 juin 1969
Proposition définitive du Département fédéral de l'intérieur au Conseil fédéral.

16 juin 1969
Choix du projet à exécuter et ratification, sur la base du mandat ci-dessus, des propositions d'adjudication, de la part du Conseil fédéral qui, à la même occasion, prendra la décision d'exécuter la galerie de sécurité.

16 juin 1969
Ratification parallèle, par le Conseil fédéral, des propositions émanant des cantons d'Uri et du Tessin concernant l'adjudication des travaux.

5 mai 1970
Date officielle du début des travaux pour le tunnel routier du St-Gothard. Les deux consortiums d'entreprises des lots nord et sud avaient déjà commencé, en automne 1969, les installations et travaux préliminaires des chantiers.

11 avril 1972
Fin des travaux de creusement du puits de ventilation de Hospental.

26 septembre 1973
Fin des travaux de creusement du puits de ventilation de Guspisbach.

21 février 1975
Décision de la commission de construction de réaliser une attaque intermédiaire à travers le puits de Hospental en direction du sud pour le creusement de la galerie de sécurité et du tunnel principal.

4 septembre 1975
Fin des travaux de creusement du puits de ventilation de Motto di Dentro.

26 mars 1976
Percement de la galerie de sécurité.

26 juillet 1976
Fin des travaux de creusement du puits de ventilation de Bäzberg.

16 décembre 1976
Percement du tunnel principal en calotte.

13 mai 1977
Fin des travaux de creusement.

Avril 1978
Fin des travaux de gros-œuvre (revêtement de béton, dalle intermédiaire et paroi de séparation délimitant les gaines de ventilation dans la partie supérieure de la section du tunnel).

Fin 1979
Fin des travaux de montage des installations électro-mécaniques.

Printemps/été 1980
Test des installations et formation du personnel d'exploitation.

5 septembre 1980
Ouverture au trafic du tunnel routier du St-Gothard.

3. Tracé (fig. 1)

Par rapport à la liaison rectiligne Airolo-Göschenen, le tunnel routier du St-Gothard décrit une vaste courbe vers l'ouest. Les principales raisons en sont les suivantes:

La ventilation du tunnel exigeant la construction de puits d'aération, un calcul économique d'optimisation démontra les avantages découlant d'un tracé sous l'échancrure même du col, soit avec incurvation vers l'ouest: le tunnel se trouvait ainsi quelque peu rallongé, mais il était possible d'économiser passablement sur la longueur des quatre puits, sans compter le fait que ces derniers devenaient aisément accessibles par la route du col.

On avait en outre décelé la présence par sondages et mesures sismiques, sous le plateau d'Andermatt, d'une cuvette glaciaire dont le lit de roche saine descendait jusqu'au niveau du tunnel ferroviaire. Par l'incurvation du tunnel routier vers l'ouest, le franchissement de ce passage sous la cuvette en question devenait plus aisé (le fond s'élève en direction d'Hospental), ce qui permettait ainsi de garantir de meilleures conditions géotechniques. Mentionnons enfin que le déplacement du tracé par rapport à la liaison rectiligne permit d'insérer de légères courbes le long du tunnel ce qui, combiné aux deux changements de pente projetés, rompait la monotonie du trajet.

Le profil topographique longitudinal n'est pas symétrique. La couverture est en effet plus faible au nord, de Göschenen à Hospental où elle est pratiquement constante, et assez importante dans la partie sud du tunnel. Ceci explique les différences de longueur des segments de ventilation.

4. Conditions géologiques (fig. 2)

Le tunnel routier du St-Gothard franchit successivement, de Göschenen à Airolo, la partie sud du massif de l'Aar, la zone d'Urseren et les séries cristallines du massif du Gothard.

Au portail de Göschenen, il fallut d'abord franchir, sur une longueur de 160 m environ, une zone d'éboulis de pente et de déblais du tunnel ferroviaire. On pénétra ensuite directement dans le granite formant le corps central du massif de l'Aare. Ce passage fut suivi par une zone de gneiss en contact direct, à sa limite sud, avec la série sédimentaire de la zone d'Urseren. Cette dernière se compose de calcaires et de schistes argilo-calcaires du jurassique, de gypse, de dolomites et de schistes du trias, enfin de phyllites, de gréseux et de schistes du permocarbonifère.

Cette zone sédimentaire fut suivie par l'enveloppe cristalline du massif du Gothard, composée de schistes à séricite (région du puits d'Hospental), puis par une série de paragneiss et de masses gneissiques-granitiques, du Gambsboden enfin, comprenant une nouvelle insertion d'une bande de paragneiss. Aux environs du portail sud, le tunnel dut franchir encore les gneiss de la Sorescia, les formations à fortes infiltrations d'eau des schistes de la Tremola et

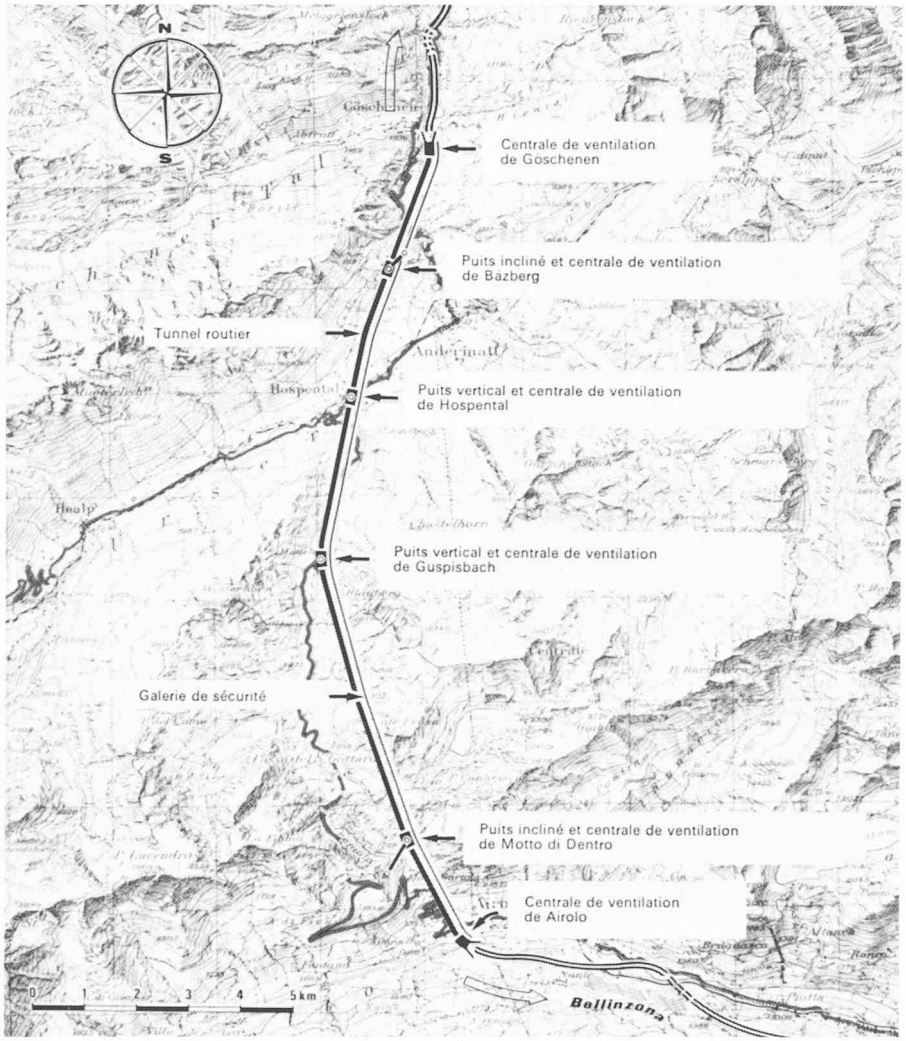


Fig. 1 — Tracé du tunnel (reproduit avec l'accord du Service topographique fédéral du 18.11.76).

les roches du trias qu'il fallut excaver à ciel ouvert, en raison de leurs mauvaises caractéristiques géotechniques.

5. Construction

Pour l'exécution des travaux de génie civil, le tunnel routier du St-Gothard fut divisé en deux lots. Les travaux débutèrent en automne 1969 aux deux extrémités, à Göschenen et à Airolo. Le début officiel de la construction fut fêté le 5 mai 1970.

Le creusement du tunnel fut réalisé pour une bonne part en section pleine, selon le type d'avancement conventionnel, c'est-à-dire caractérisé par les phases de percement des trous de mine au front, du chargement de ces trous avec des cartouches d'explosifs, de la volée proprement dite, de l'évacuation du marin enfin. Ces transports de matériel furent réalisés par camions au lot nord, par trains au lot sud.

La galerie de sécurité, parallèle au tunnel routier, fut creusée en même temps et précédait même toujours le front du tunnel d'une bonne distance.

Peu après le début des travaux d'excavation du tunnel, on procéda même à la mise en exploitation des chantiers des puits verticaux de Guspisbach et de Hospental. Ces puits furent creusés de façon conventionnelle de haut en bas. Les puits inclinés de Bäzberg et de Motto di Dentro, fraisés d'abord de bas en haut, ne purent être attaqués qu'après le passage du tunnel au pied des puits. Leur percement s'effectua en deux étapes: un puits pilote fut d'abord creusé de bas en haut puis élargi de haut en bas, les deux passages ayant été réalisés à l'aide de machines foreuses. Au cours des travaux il fallut procéder, dans l'intérêt général de la planification de l'ouvrage, à l'attaque intermédiaire du tunnel à travers le puits vertical de Hospental en direction du sud. On installa à cet effet un ascenseur automatique pour les personnes et les déblais dans le puits en question.

Quelques difficultés se présentèrent dans la zone du portail sud, où le tunnel dut être réalisé à ciel ouvert à cause des mauvaises conditions géotechniques des formations du trias. Les principaux problèmes du lot sud se concentrèrent sur la partie des paragneiss, où il fallut creuser un segment du tunnel en section partielle sur une longueur de 340 m et où les parements non encore revêtus accusèrent d'énormes déformations, malgré les importantes mesures de soutènement mises en œuvre.

Au portail nord, on recourut de même au creusement en section partielle pour franchir une zone de déblais et d'éboulis sur quelque 160 m. Au droit du croisement du tunnel ferroviaire, où la calotte du tunnel routier ne passe qu'à 5,20 m sous le sol du tunnel de chemin de fer, on avança en section partielle aussi, en prenant toutes les mesures de sécurité possibles et en contrôlant régulièrement les ébranlements provoqués par les volées. La partie la plus difficile du lot nord fut rencontrée dans les formations sédimentaires du mésozoïque et du permocarbonifère, à 4 km environ du portail de Göschenen, où un passage de 300 m environ dut être franchi, lui aussi, en section partielle.

Les matériaux excavés du tunnel furent utilisés, au nord, comme couche de fondation pour tout le complexe réalisé à Göschenen. Au sud, ils servirent de remblais pour le tracé de l'autoroute.

La galerie de sécurité

Le profil en fer à cheval de la galerie de sécurité a une largeur d'environ 2,60 m et une hauteur de 2,40 m à 3,10 m. L'entre-axe tunnel-galerie de sécurité est de 30 m. La galerie de sécurité n'est pas

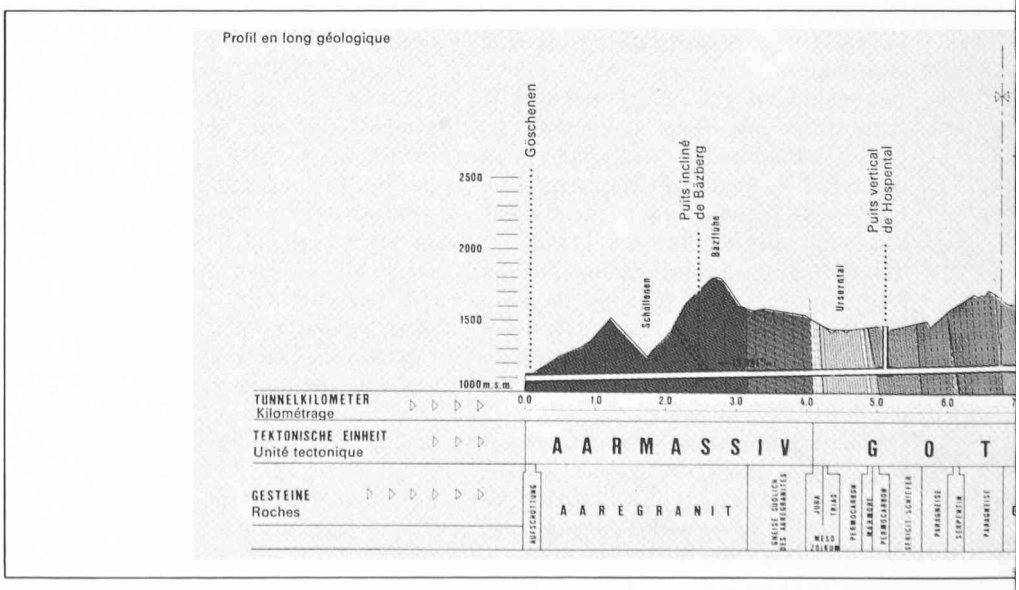


Fig. 2. — Profil en long géologique.

revêtue, à part certaines zones où les conditions de la roche exigeaient des boulons d'ancrage, du béton projeté ou de la gunite. Dans les passages à forte pression on a utilisé des cintres métalliques avec tôles de blindage et même bétonné la voûte.

Le radier de la galerie de sécurité est bétonné sur toute la longueur: de petits véhicules peuvent y circuler. La galerie est destinée avant tout au service des usagers du tunnel. Elle facilite de même l'exploitation et l'entretien du tunnel principal. Elle est éclairée, tous les 20 m, par des lampes fluorescentes. Une petite centrale de ventilation, située à Guspisbach, lui fournit l'air frais nécessaire. Ce système de ventilation est indépendant de celui du tunnel. La pression de l'air dans la galerie de sécurité est supérieure à celle du tunnel. Ceci est étudié pour empêcher, en cas d'incendie, que de la fumée pénètre dans les galeries transversales de protection situées tous les 250 m, entre le tunnel et la galerie de sécurité.

Le tunnel routier

Deux jumbos de 37 tonnes à cinq perforatrices furent mis en œuvre du côté sud pour l'avancement en section totale. Ces machines utilisaient un maximum de 96 m³ d'air comprimé par minute. Pour une volée de 3-3,50 m de longueur il fallait percer 110 à 130 trous de 4 m de longueur et 48 mm de diamètre.

Les prestations journalières d'avancement furent définies contractuellement avec les entreprises en fonction de six classes d'excavation. Il n'avait cependant pas été possible de prévoir toutes les difficultés. C'est pour cette raison que les prestations effectives journalières ont parfois été plus faibles que prévu. Les schémas représentent le principe des classes d'excavation 1 à 6 appliquées aux lots nord et sud. La classe 1 correspond à un creusement en roche ferme et stable; la classe 6, par contre, s'applique à une roche fortement fracturée, sans stabilité ni cohésion, où le creusement doit s'effectuer en diverses étapes en recourant à un soutènement métallique et même à un bétonnage parallèle en plusieurs phases. Entre ces deux extrêmes on trouve échelonnés tous les degrés possibles de difficultés de creusement.

A partir du km 2, au lot nord, il fut nécessaire, pour des raisons de sécurité, de passer du creusement en section totale à celui en demi-section supérieure. La calotte était ainsi excavée, en premier, sur une longueur de 300 à 600 m, suivie par la partie inférieure du profil, le stross. Cette méthode fut appliquée continuellement jusqu'au km 6,8.

Une des nouveautés les plus remarquables des travaux de creusement du lot sud fut représentée par le «sliding floor», utilisé pour la première fois en Europe. Il s'agissait d'un tapis glissant en acier de 241 m de longueur et 9,5 m de largeur. Il pesait 350 tonnes et se composait de cinq éléments. Le sliding floor était poussé par des presses hydrauliques. Quinze minutes étaient nécessaires pour une translation de 3 m.

Ce système offrait d'énormes avantages: pour le chargement des wagons de déblais, les aiguillages et voies de garage se trouvaient toujours directement près du front sans gros efforts d'installation; une chaussée plane et propre était toujours garantie pour le marinage; les voies nécessaires à la plate-forme de travail du niveau supérieur, pour les opérations de boulonnage, étaient enfin toujours à disposition, puisque montées sur le sliding floor.

Au sud du massif de l'Aar, les mauvaises formations sédimentaires du mésozoïque posèrent passablement de problèmes techniques aux construc-

Données techniques sur le tunnel routier du St-Gothard, les puits de ventilation et la galerie de sécurité

Tunnel principal

Longueur
Longueur totale 16,918 km dont 16,322 km en souterrain et 596 m en galerie de protection fermée.

Section
Lot nord: 69-96 m²
(130 m² dans la zone du mésozoïque).
Lot sud: 83-96 m²
(110 m² dans la zone des paragneiss).

Pente longitudinale
Lot nord: 1,4 et 0,6%
Lot sud: 0,3%

Rayons de courbure
Aux environs des portails: 700 m
A l'intérieur du tunnel: 2000 m

Volume excavé
1 600 000 m³

Volume de béton mis en œuvre
370 000 m³

Consommation de mazout
7 700 000 litres

Consommation d'énergie électrique
116 000 000 kWh

Heures de travail
9 200 000 h

Consommation d'explosifs
2 800 000 kg

Quantité totale d'air pour le cas d'un trafic de pointe
2150 m³ par seconde.

Quantité totale d'air installée y compris toutes les réserves
2800 m³ par seconde

Puissance totale installée
26 000 kW

Trafic admissible
1800 voitures-unités par heure en trafic à double sens

Puits de ventilation

Bäzberg
Puits incliné à 84%
Hauteur 330 m
Longueur: 513 m
Diamètre intérieur: 5,90 m

Hospental
Puits vertical
Hauteur: 303 m
Diamètre intérieur: 5,60 m

Guspisbach
Puits vertical
Hauteur: 522 m
Diamètre intérieur: 6,65 m

Motto di Dentro
Puits incliné à 80%
Hauteur 543 m
Longueur: 870 m
Diamètre intérieur: 5,75 m

Galerie de sécurité

Longueur totale
16,322 km

Section au lot nord
7,5 à 10 m²

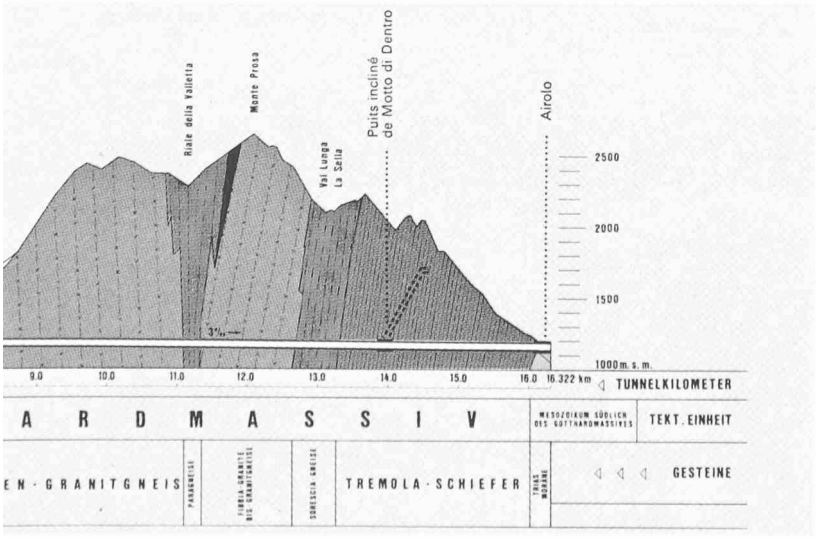
Section au lot sud
7,5 à 9 m²

Largeur
2,60-3,20 m

Hauteur
2,60-3,10 m

Galeries de protection
Liaisons transversales entre le tunnel et la galerie de sécurité.
Tous les 250 m
Longueur: 20 m
Section: env. 20 m²

Centrales de ventilation souterraines
Disposées dans l'axe du tunnel principal.
Longueur: 60 m
Section: 160 m²



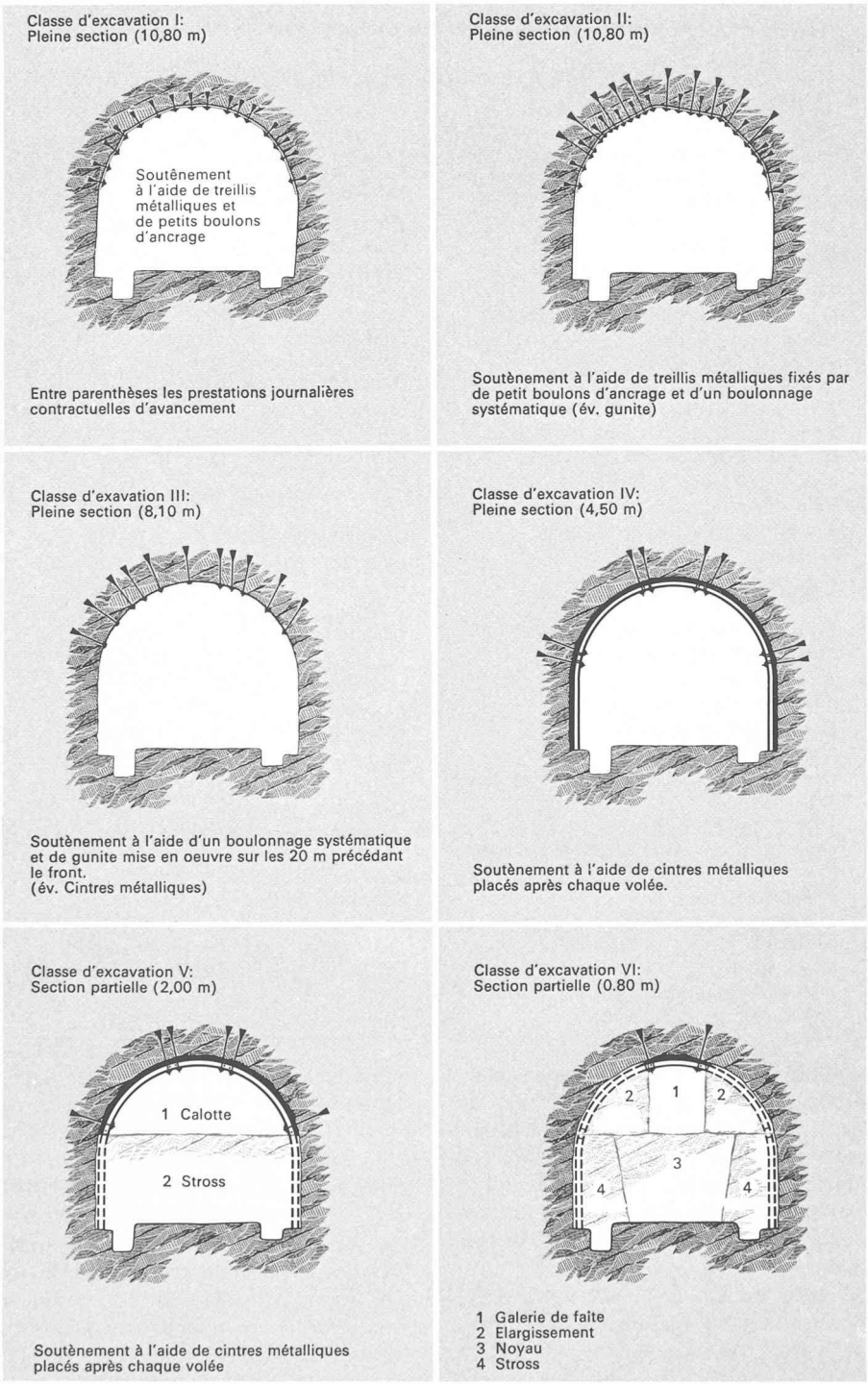


Fig. 3. — Les six classes d'excavation.

teurs. Le creusement de la galerie de sécurité put fournir de précieuses indications pour la construction du tunnel. Il fallut, entre autres, ajouter à la partie inférieure du profil une contre-voûte de béton de 1,40 m d'épaisseur et renforcer tout le revêtement du tunnel en le dimensionnant à une pression de la roche de 70 t/m^2. Le franchissement de cette zone se fit en section partielle, selon la méthode allemande, avec excavation préalable, par étapes, de deux galeries latérales dans lesquelles les appuis en béton des cintres de la calotte allaient venir se loger. Suivait le creusement de la calotte pour la protection duquel on recourut à des lances dimentionnées à 40 t/m^2 et actionnées par des presses hydrauliques; ces lances s'appuyaient elles-mêmes sur les cintres d'acier distants de 1 m. L'abatage du merlon central et le bétonnage de la contre-voûte se déroulaient immédiatement après, de telle sorte que l'anneau de béton du tunnel se refermait complètement après 30 mètres. La prestation d'avancement représentait en moyenne 1,43 m par jour sur l'ensemble de la section (sans les galeries latérales creusées auparavant).

Peu après l'abatage du merlon central, d'importantes pressions latérales se développèrent dans la partie centrale de la zone des paragneiss sur une longueur de 100 m environ. Pour éviter que cette action s'exerce trop fortement sur le soutènement en place, 800 tirants d'ancrage de précontrainte à 58 t et de 6 à 9 m de longueur furent mis en œuvre pour freiner les déformations des parements. Malgré ces mesures, les mouvements ne se stabilisèrent qu'après plus d'une année.

Ces énormes déformations finirent par rétrécir le profil du tunnel jusqu'à 150 cm. Cet état de fait poussa les constructeurs à mettre en œuvre un certain nombre de travaux de retouches et de transformations dans ce passage délicat, puis à procéder au bétonnage immédiat des parements. Ces corrections ne furent cependant entreprises

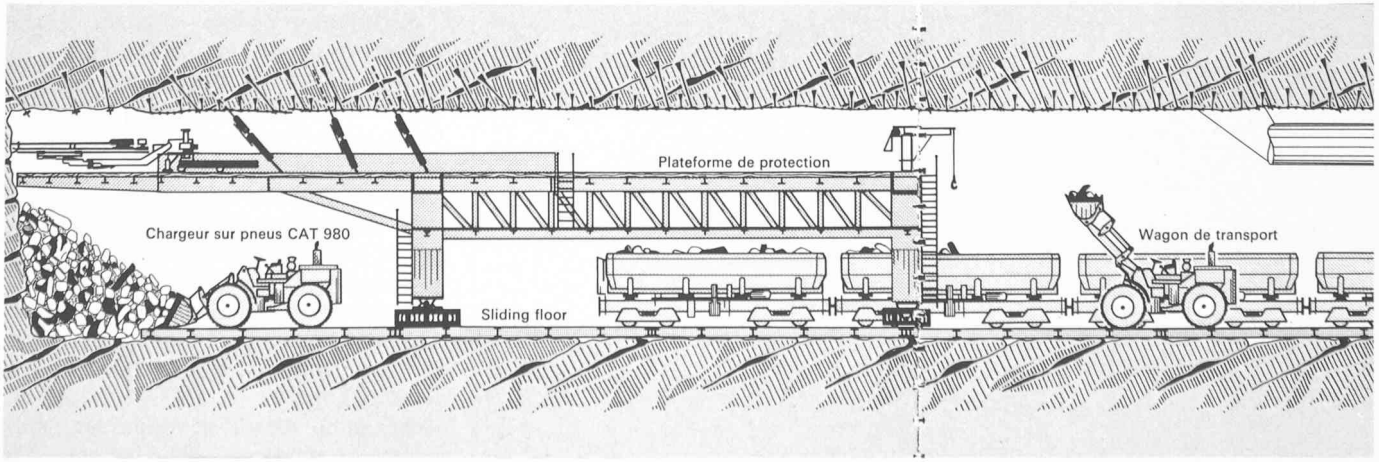


Fig. 4. — Une plate-forme d'acier de 6 m de hauteur et 35 m de longueur, munie de roues pour être déplacée sur rails et disposant d'un porte-à-faux de 16 m de longueur, permettait aux équipes d'avancement d'effectuer les travaux de boulonnage de la calotte pendant que le marinage des déblais se réalisait à l'étage au-dessous.

qu'après que la masse rocheuse eut retrouvé son équilibre, soit au bout de plus d'une année.

Dans la zone des paragneiss, on avait prévu initialement un léger soutènement de 23 m de longueur. Les mauvaises conditions géotechniques rencontrées exigèrent finalement la mise en œuvre d'un puissant soutènement de 340 m de longueur et même souvent le bétonnage du revêtement immédiatement après la phase de creusement. Pour limiter au maximum les retards sur le programme, des attaques intermédiaires à partir de la galerie de sécurité furent organisées au nord et au sud de la zone. L'abatage du merlon central s'effectua lors de l'arrivée du creusement normal du tunnel à cet endroit.

A 1000 m environ du portail nord, le tunnel routier passe sous le tunnel ferroviaire en le croisant avec un angle de 25°. Le pont de roche entre la calotte du tunnel routier et le caniveau du tunnel de chemin de fer n'a qu'une épaisseur de 5,20 m. Sur une longueur de 330 m, il fallut progresser en prenant toutes les mesures de sécurité possibles, en ne perçant que des trous de mine de longueur réduite et en n'utilisant que de faibles charges d'explosifs.

Au droit-même du croisement, sur une longueur de 40 m, il fallut procéder au creusement en 6 sections partielles et au soutènement de la calotte à l'aide de cintres métalliques et de tôles de blindage. Les ébranlements provoqués par les volées sur les blocs de granite de revêtement du tunnel ferroviaire furent contrôlés régulièrement. Le trafic international des chemins de fer n'eut jamais à souffrir du moindre retard causé par ces travaux.

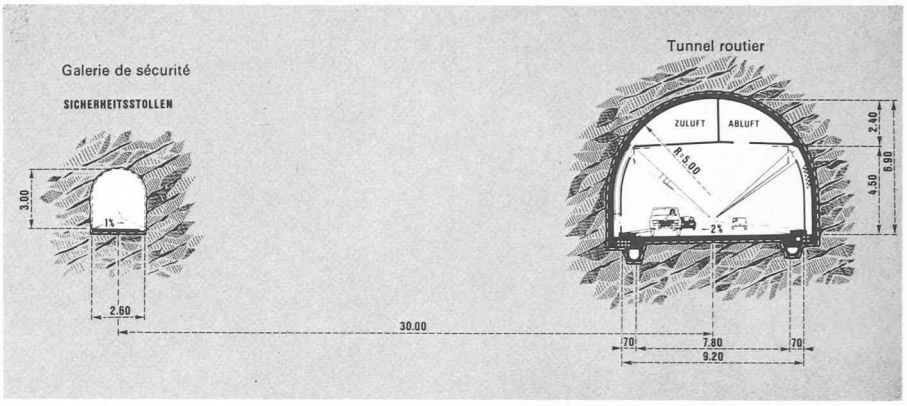


Fig. 6. — Dans les deux lots, la galerie de sécurité fut creusée à l'aide de petits jumbos. Le matériel excavé fut chargé par des pelles mécaniques à air comprimé qui déversaient le marin sur des transporteurs à bande faisant corps avec les trois à quatre wagons spéciaux utilisés pour le transport. Les locomotives étaient équipées de batteries électriques.

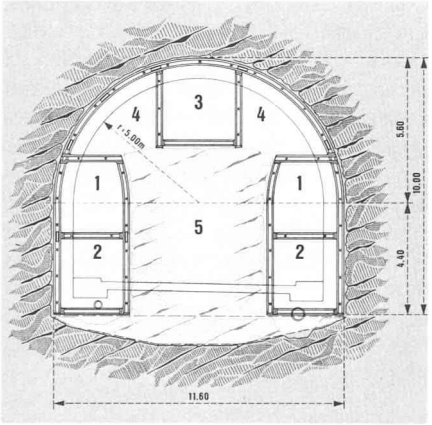
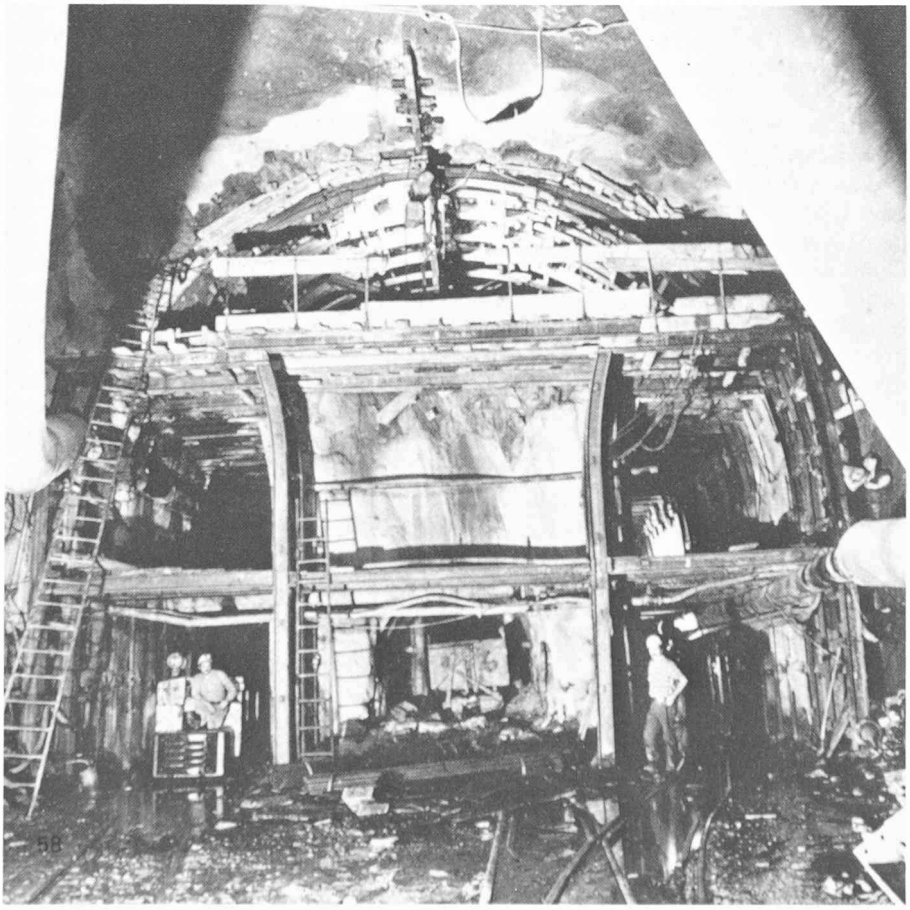


Fig. 5. — La méthode utilisée dans le passage du mésozoïque, au lot nord du Pm 4130 à 4430, fut aussi appliquée, de façon très semblable, pour la zone des paragneiss dans la partie sud, du Pm 4950 au Pm 5290. Elle est connue, dans la construction des tunnels, sous le nom de «méthode allemande». A la base des parements du profil se trouvent les galeries latérales avec leur soutènement de cintres métalliques et de tôles de blindage. Entre elles se situe le merlon central. En bas on distingue la galerie de sondage. En haut, la calotte, qui possède aussi un soutènement métallique.



Les puits de ventilation

Le bâtiment extérieur à la tête du puits de ventilation de Bäzberg, avec son toit incliné pour la prise d'air et sa cheminée d'air vicié, est accroché au flanc de la montagne au-dessus de la route du Gothard dans les Schöllenen. A cause de sa position très exposée, il fallut procéder à la construction d'un ouvrage de protection contre les avalanches avec treillis de retenue pour la neige.

Les deux puits de ventilation inclinés de Motto di Dentro et Bäzberg furent creusés à l'aide de machines foreuses qui percèrent d'abord un puits pilote de 3 m de diamètre de bas en haut.

Les deux puits de ventilation verticaux d'Hospental et Guspisbach furent creusés en une seule étape de haut en bas en section pleine. La construction des installations nécessaires, du type de celles utilisées pour l'exploitation de mines, avec tour et système d'ascenseurs, fut sous-traitée à une entreprise étrangère qui mit aussi ses spécialistes à disposition pour l'exploitation. Le puits de Guspisbach, de 521 m de profondeur, fut isolé totalement à l'aide de feuilles de PVC.

Les parois du puits, ainsi que la séparation transversale entre le canal d'air frais et celui d'air vicié furent bétonnés après coup à l'aide d'un coffrage glissant de bas en haut.

Le creusement des puits verticaux d'Hospental et Guspisbach s'effectua de façon conventionnelle de haut en bas à l'aide d'une installation de forage à trois perforatrices. Un chargeur à air comprimé pouvait saisir jusqu'à 0,5 m^3 de déblais par poignée. Les bennes de remontée avaient une capacité de 1,5 m^3 et étaient évacuées à la vitesse de 10 m

Fig. 7. — Au lot nord on utilisa pour le contrôle et le marquage du profil d'excavation neuf appareils-lasers montés sur un portique le long du pourtour du tunnel. Ils étaient déplacés régulièrement à chaque étape d'avancement de 300 m. Les rayons lasers servaient aussi au marquage du schéma de forage sur le front d'attaque du tunnel.

par seconde grâce à de puissants treuils installés à la tête des puits.

L'attaque intermédiaire

Comme les déblais de l'attaque intermédiaire ne pouvaient être évacués vers Göschenen faute de place de dépôt, un ascenseur automatique pour le matériel fut installé au sommet du puits d'Hospental — d'un type semblable à ceux utilisés pour les mines de charbon. Toutes les 2 minutes, une benne de 4 m^3 de marin concassé était expédiée à la surface à la vitesse de 10 m/s pour y être vidée.

C'est dans le secteur de la centrale d'Hospental que le matériel d'excavation transporté par wagons était déversé dans un canal puis drainé par un scraper jusqu'à un concasseur. Le marin, broyé en petits blocs de la grosseur d'une main, était ensuite conduit par un transporteur à bande jusqu'à l'ascenseur automatique installé dans le puits.

Dans la zone des quatre centrales de ventilation souterraines, le tunnel principal fut agrandi jusqu'à une largeur de 14 m et une hauteur de 12 m pour créer l'espace nécessaire au montage des installations électro-mécaniques et en particulier des ventilateurs d'air frais et d'air vicié.

L'espace situé dans la partie supérieure du profil a été séparé de celui réservé aux véhicules à l'aide d'une dalle intermédiaire délimitant ainsi, grâce à une paroi verticale de séparation, les gaines d'air frais et d'air vicié.

Comme pour les puits verticaux, les puits inclinés furent isolés sur toute leur longueur à l'aide de feuilles en matière synthétique plaquées contre la roche fraisée.

Toutes les installations électro-mécaniques montées dans les centrales ont dû à tout prix être protégées contre l'humidité. C'est la raison pour laquelle toute la surface de la roche a été recouverte d'une isolation en matière synthétique.

Après l'exécution des travaux de second-œuvre dans les centrales, on procéda immédiatement au montage des ventilateurs pour l'air vicié. C'est à l'aide d'un engin spécial de transport et de levage que le premier ventilateur de 29 tonnes fut logé à son emplacement définitif au-dessus de la dalle intermédiaire dans la centrale d'Airolo.

5. Les installations pour la sécurité du trafic

Les systèmes techniques

Le personnel de contrôle du tunnel est chargé de traiter toutes les informations qui lui arrivent. Il reçoit les données sur l'intensité du trafic des deux rampes d'accès et du tunnel, répond aux appels des automobilistes. Il contrôle toutes les influences que peut avoir le trafic sur

Fig. 8 — Vue à l'intérieur de la galerie de sécurité terminée avec l'éclairage définitif.

l'exploitation des dix-sept kilomètres en souterrain. Il surveille l'état de toute les installations ainsi que les effets de celles-ci, pour la sécurité générale du trafic. Il planifie les actions de secours de la police et des services d'exploitation en cas de pannes éventuelles, d'accidents ou de situations de catastrophe. Il est aussi responsable de l'entretien et de la bonne marche de tout l'équipement de second-œuvre et des installations électriques et mécaniques. Un grand nombre de systèmes techniques pour la surveillance et le réglage sont à disposition du personnel de contrôle dans l'accomplissement de ses nombreuses tâches. Toutes ont pour objectif ultime d'assurer une sécurité maximale aux usagers du plus long tunnel routier du monde.

L'éclairage

L'éclairage du tunnel garantit en tout temps à l'automobiliste des conditions optimales de visibilité pour sa traversée du tunnel. Une bande lumineuse continue est installée du côté est. Il est en outre possible d'adapter l'éclairage aux variations du trafic, d'en réduire l'intensité par exemple et d'économiser l'énergie. Une lampe sur dix est connectée à un réseau séparé de telle sorte qu'un dixième de l'intensité reste garanti en cas de panne du réseau normal.

Environ 50 cm au-dessus de la chaussée et tous les 50 m on a placé des lampes spéciales de secours en cas d'incendie. Elles sont directement branchées sur un circuit alimenté par des batteries et s'enclencheront automatiquement lors de la réaction du dispositif de détection d'incendie ainsi que lors d'une défection de l'éclairage principal.

Comme pour chaque tunnel routier, les zones de portails sont pourvues d'un éclairage renforcé. Grâce à lui la lumière artificielle pourra s'adapter à l'intensité lumineuse extérieure et aux conditions de visibilité variant avec le temps, la période annuelle et l'heure de la journée.

Il est naturellement possible de régler par secteurs tout l'éclairage du tunnel à

partir des centrales de commandement en cas d'accident ou de travaux d'entretien.

Dans le tunnel routier du St-Gothard, on a monté quelque 14000 lampes fluorescentes de 40 W chacune. La puissance maximum de l'installation représente env. 1000 kW, l'énergie consommée 4 mio de kWh par année.

La ventilation

La plus importante installation pour la sécurité et la santé des automobilistes et du personnel du tunnel est constituée par le système de ventilation. Les gaz d'échappement des moteurs à explosion et en particulier le monoxyde de carbone (CO), les composés sulfureux et les oxydes d'azote doivent être évacués de l'espace respirable par dilution jusqu'à un taux admissible très bas qui ne puisse aucunement mettre en danger la santé et la vie des usagers. Les vingt-deux ventilateurs pour l'air frais et l'air vicié, à pales réglables et moteurs électriques à deux vitesses, sont installés dans les 6 centrales souterraines. Les dispositifs d'enclenchement et de commande automatique disposés dans ces centrales assurent le réglage de la quantité d'air. Pour garantir une exploitation économique du système de ventilation, la régulation générale en est confiée à un ordinateur. Les puissances des ventilateurs pour notre ouvrage de 17 km de longueur varient entre 490 et 2920 kW, la puissance totale installée du système valant 24255 kW.

La ventilation est conçue pour une capacité maximale de 1800 véhicules à l'heure. En cas de faible trafic, elle utilise le tirage naturel des puits qui permet de ventiler le tunnel avec une très faible consommation d'énergie.

En cas d'incendie, des programmes spéciaux entrent en fonction. Ils veillent en particulier à ce que les dégagements de gaz et de chaleur restent concentrés sur un segment du tunnel aussi petit que possible.

Le contrôle du trafic

De chaque côté du Gothard, l'autoroute conduisant au tunnel est formée de quatre pistes, séparées deux à deux par une bande mitoyenne; le tunnel, quant à lui, comprend les deux sens de circulation à la fois, un par piste, dans le même tube. Il découle évidemment de cette constatation que de nombreux dispositifs de signalisation ont dû être installés avant les entrées. Grâce à leur aide les automobilistes se verront dirigés vers les pistes correspondantes du tunnel. En cas d'accident ou de blocage d'une piste du tunnel, ils en fermeront l'accès. Sur les 17 km de l'ouvrage souterrain, la vitesse est limitée à 80 km/h, avec interdiction absolue de dépasser. Des signaux rouge/vert/orange et de limitation de vitesse se trouvent placés tous les 250 m. Grâce à cette signalisation optique, toute intervention peut se faire très rapidement. Tout le système de signalisation est réglé par ordinateur sur la base de programmes préétablis. Le personnel de service a toutefois la possibilité d'intervenir directement manuellement en cas d'informations et d'annonces reçues ou sur la base d'observations sur leurs écrans de télévision. Lorsqu'un incendie se déclare ou lorsque la concentration maximale admissible de CO est dépassée, la signalisation nécessaire est automatiquement enclenchée.

Les niches d'alarme

Sur la longueur totale des 17 km du tunnel, on a prévu des dispositifs d'alarme ou stations SOS, et cela du côté ouest tous les 125 m dans des niches spéciales et du côté est tous les 250 m dans les galeries de protection transversales. Ils permettent aux automobilistes en difficulté de s'annoncer et de converser depuis le tunnel avec le poste de commandement.

Ces stations SOS comprennent un téléphone de secours analogue à celui des colonnes situées le long des autoroutes à l'air libre. Un bouton SOS permet d'appeler de l'aide pour le cas où le mode conversationnel du téléphone ne serait pas possible. On y trouve d'autre part deux extincteurs que les usagers du tunnel pourraient utiliser en cas d'incendie. La position des niches d'alarme rouge-orange dans le tunnel est signalée par des panneaux SOS.

Chaque manipulation des dispositifs d'alarme (détachement des extincteurs, pression sur le bouton SOS ou utilisation du téléphone) déclenche un signal acoustique dans les centrales de commandement. Le personnel responsable se trouvera renseigné immédiatement sur l'endroit concerné et le type d'annonce. Le segment de tunnel en question apparaîtra aussi tout de suite sur les écrans de télévision du poste de commandement. Dans le tunnel, les signaux lumineux s'enclencheront sur l'orange clignotant pour la partie concernée.

Sur la base des observations et des annonces faites, toutes les mesures nécessaires seront prises par le personnel responsable.

Les détecteurs d'incendie

Il est très important de pouvoir enregistrer immédiatement la présence d'un incendie dans le tunnel, pour prendre tout de suite les mesures de secours nécessaires. On a donc installé dans le tunnel routier du St-Gothard un système de détection capable d'enregistrer à coup sûr tout incendie de plus de vingt litres de benzine.

Les incendies dans un tunnel peuvent avoir des conséquences désastreuses. Dès la première réaction du système de détection, diverses mesures de sécurité seront déclenchées et une équipe de pompiers, composée de trois hommes, sera mobilisée pour une action immédiate. On compte limiter ainsi les conséquences néfastes et les accidents provoqués par l'incendie.

L'annonce d'un incendie déclenchera automatiquement un signal d'alarme optique et acoustique dans le poste de commandement et de manutention. L'emplacement de l'incendie se marquera sur un tableau et les images de la zone sinistrée apparaîtront devant le personnel sur les écrans de télévision. La ventilation, le système de signalisation pour le contrôle du trafic et l'éclairage de secours seront d'autre part immédiatement réadaptés à la nouvelle situation.

En cas d'incendie dans le tunnel, les galeries transversales de protection seront d'un grand secours. Elles sont disposées tous les 250 m et continuellement approvisionnées en air frais par la galerie de sécurité. En cas de nécessité, ces abris offrent une excellente protection contre les gaz et les effets de la chaleur. Si quelqu'un pénètre dans l'un de ces abris, sa présence sera tout de suite annoncée au poste de commandement et le personnel responsable pourra lui transmettre ses instructions grâce aux haut-parleurs placés devant les portes.

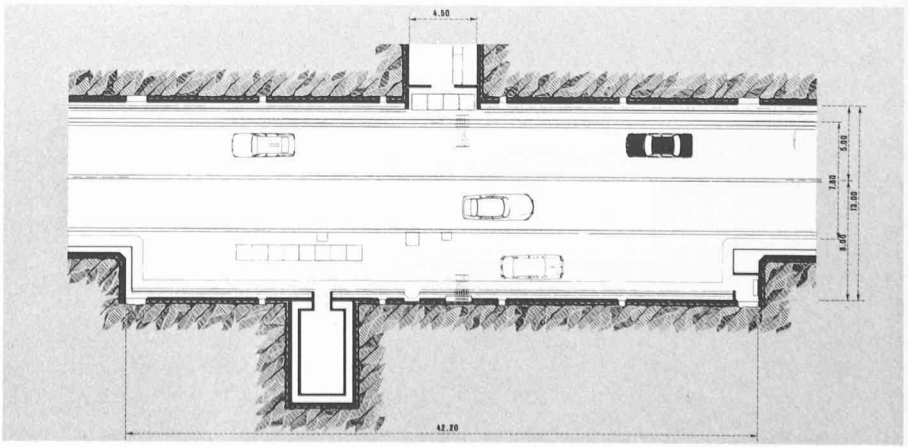


Fig. 9. — Plan d'une place de garage ouest avec niche PTT (en bas), d'une niche SOS (à droite) et de l'entrée d'une galerie transversale de protection (en haut).

Le système de télévision

Sur les 17 km du tunnel routier du St-Gothard, un système complet de surveillance par télévision a été installé. Des caméras sont montées tous les 250 m et permettent d'observer toute la longueur du tunnel. Le stationnement prolongé d'équipes de contrôle dans l'ouvrage est ainsi superflue.

Toutes les situations possibles peuvent donc être immédiatement observées depuis le poste de commandement, les mesures adéquates prises à temps et les interventions de secours organisées à bon escient.

Dès qu'un signal arrive ou qu'une alarme est donnée, le système de télévision s'enclenche automatiquement sur la zone sinistrée. Les images apparaissent dans les deux postes de commandement. Sur les écrans installés, un segment de l'ordre de grandeur de deux kilomètres peut être observé. A l'aide d'un réglage manuel ou automatique tout le tunnel peut être balayé par les caméras.

L'ensemble du système comprend 83 caméras, qui transmettent leurs informations sur les 10 moniteurs de chaque poste de commandement. Le fonctionnement et la transmission d'images peuvent être commutés séparément sur chaque centrale de commandement.

Le système de radio

Les véhicules de service de la police routière et du personnel d'exploitation des deux cantons d'Uri et du Tessin peuvent communiquer et être appelés par radio, et ceci grâce à un système spécial installé dans le tunnel. Il s'agit d'un ensemble de câbles-antennes, monté sur toute la longueur de l'ouvrage. Cet équipement permet la réception et la diffusion des communications sur toutes les fréquences utilisées jusqu'ici dans les deux cantons par la police et les services d'entretien. Dans l'état actuel, il s'agit déjà de huit fréquences.

C'est par la même installation de câbles-antennes que seront diffusés les programmes radio sur ondes ultra-courtes des émetteurs uranais et tessinois, ce qui permettra aux automobilistes d'écouter leurs stations habituelles en voiture. D'importantes communications concernant la sécurité du trafic dans le tunnel peuvent être transmises directement depuis la centrale de commandement aux automobilistes-auditeurs par interruption des programmes OUC. Le système national d'auto-téléphone (NATEL) des PTT utilisera de même cet équipement.

Ces possibilités de communication entre poste de contrôle et véhicules et entre véhicules de service eux-mêmes sont d'une importance capitale lors d'une catastrophe. Le système est conçu de telle façon qu'en cas de rupture locale, lors d'un incendie par exemple, les communications continueront à être assurées.

L'approvisionnement en énergie

La sécurité des usagers du tunnel est en relation directe avec la fiabilité du système d'approvisionnement en courant électrique. Ce dernier est assuré par la connection directe aux réseaux de 50 kV des vallées d'Uri et du Tessin, eux-mêmes alimentés par les centrales voisines des Forces motrices de Göschenen et Lucendro. Ces deux réseaux couvrent à 100% les besoins en énergie du tunnel. En cas de panne d'un des secteurs, l'autre fournit le courant pour tout l'ouvrage.

A part cet approvisionnement pour l'exploitation normale, on a installé dans chaque centrale souterraine de ventilation et dans les deux postes de commandement un système d'alimentation par batteries. Une lampe sur dix de l'éclairage du tunnel ainsi que les dispositifs de contrôle et d'alarme sont continuellement branchés sur cette source potentielle d'énergie, indépendante des pannes de secteur et des commutations.

La puissance maximale de tout l'équipement du tunnel atteint env. 29 000 kW. Cette valeur se répartit à 86% pour la ventilation, 4% pour l'éclairage et 10% pour les dispositifs annexes. La consommation d'énergie annuelle représente env. 14,5 mio de kWh soit 6,5 mio de kWh pour la ventilation du tunnel et de la galerie de sécurité, 4 mio de kWh pour l'éclairage et 4 autres millions pour les dispositifs annexes.

Le processeur et le système de commande à distance

Les installations techniques d'exploitation telles que le système d'approvisionnement en courant électrique, l'éclairage, la ventilation, les niches d'alarme, etc... sont surveillées et commandées à distance, afin de garantir l'ordre et la sécurité dans l'exploitation du tunnel. Dans chaque centrale de commandement, l'état de marche de toutes les installations du tunnel peut être observé en tout temps. En cas de dérangements, défectuosités ou interventions, les signaux d'alarme ou les ordres de commande sont communiqués sans retard à la police ou aux services d'entretien par un système de transmission et commande à distance. Depuis les 11 sous-stations situées le long du tunnel, les informations concernant environ 4000 critères sont transmises à chaque instant aux deux centrales de commandement. C'est ainsi qu'il est possible de contrôler en tout temps le fonctionnement de chaque appareil ou dispositif sur les tableaux synoptiques installés aux postes de commandement. Tout l'équipement électromécanique peut être commandé et contrôlé à distance, les ordres et valeurs limites étant communiqués par le système en question. Ce dernier permet aussi d'établir, en langue allemande ou italienne, des tableaux statistiques sur toutes sortes d'informations concernant l'exploitation, le contrôle du trafic et les signaux d'alarme.

Le système comprend enfin un processeur contrôlant la bonne marche et le fonctionnement optimal de la ventilation. Les programmes veillent en effet à ce que l'ouvrage soit ventilé en fonction de critères économiques bien établis. Si certaines circonstances mettent toutefois en cause la sécurité des usagers, des programmes spéciaux adéquats seront immédiatement sollicités. Le système de commande à distance et le processeur sont conçus pour garantir une sécurité absolue aux automobilistes, et cela même en cas de panne de l'ordinateur ou d'une partie du système.

6. Centres d'exploitation autoroutiers

Les centres d'exploitation de Göschenen et Airolo sont situés près des portails du tunnel. Ils hébergent les équipes de police pour la surveillance du trafic et les divers organes pour

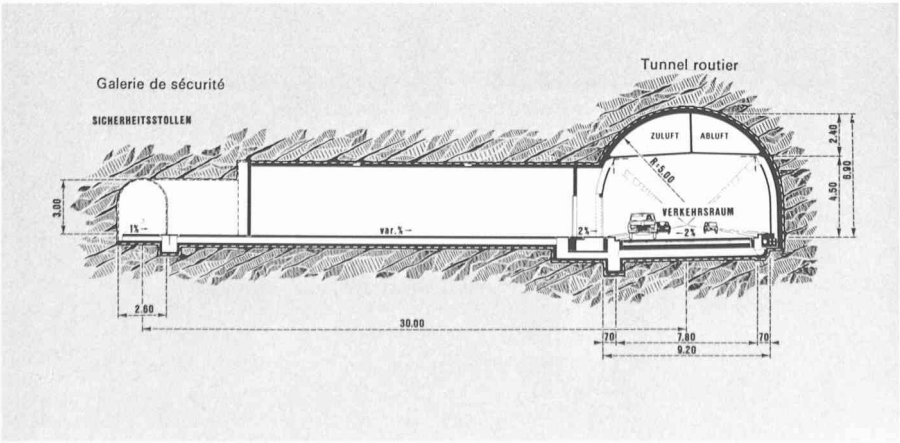


Fig. 10. — Coupe d'une galerie transversale de protection.

l'exploitation et l'entretien des installations. Ce personnel est engagé pour le tunnel, les rampes nord et sud de l'autoroute et les deux versants du col du St-Gothard.

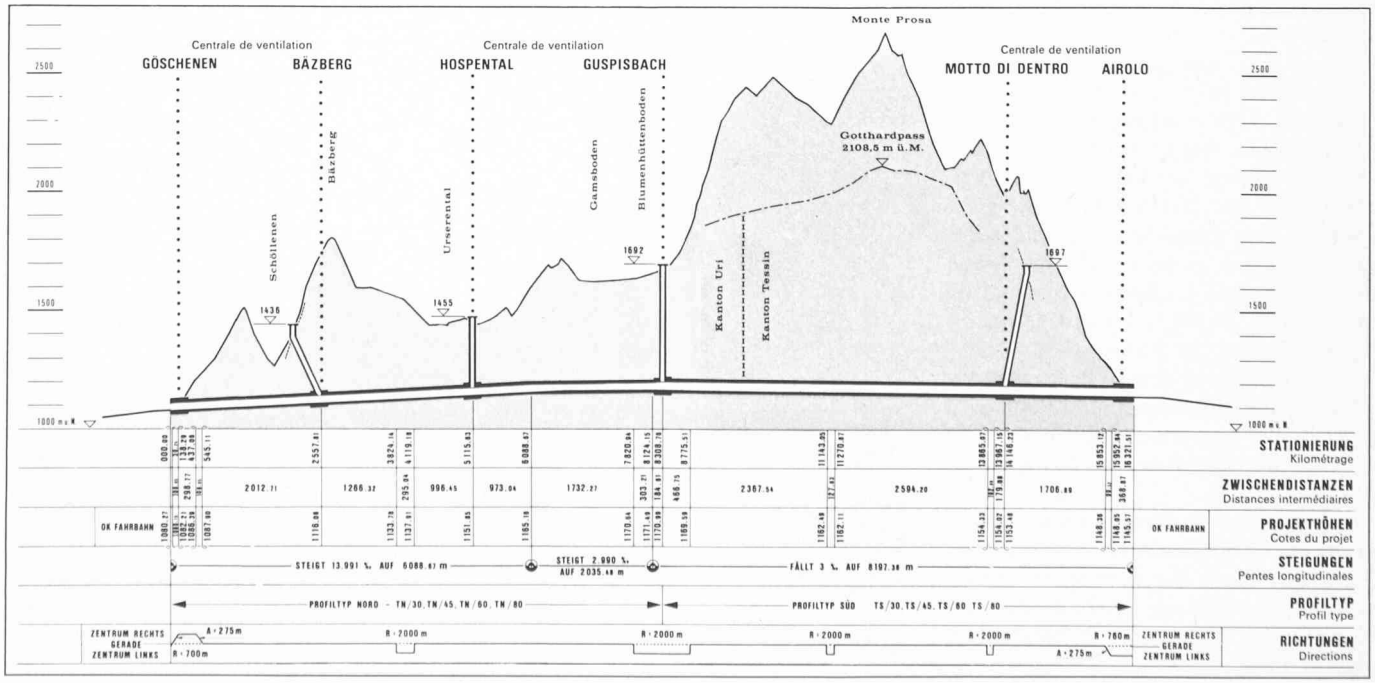
Les centres d'exploitation abritent les équipements de commande, les locaux des services de police et d'entretien, les salles pour les moments de détente des équipes de piquet, les garages pour les véhicules et autres engins, les ateliers mécaniques et électriques, les magasins de pièces de rechange etc... les silos de sel et de gravier ainsi que les locaux des pompiers avec tout le matériel nécessaire. Le travail des équipes d'exploitation et d'entretien est parfaitement réglé. Pour les rampes de l'autoroute et la route du col, les tâches se répartissent en fonction des territoires cantonaux d'Uri et du Tessin. Le tunnel routier du St-Gothard lui-même est considéré comme domaine extra-territorial et forme une seule unité d'organisation où les tâches ne se répartissent pas selon les frontières géographiques des cantons. Les organes de police y contrôlent le trafic durant 24 heures par jour et 365 jours par an. Cette surveillance est confiée alternativement, tous les 15 jours, au personnel responsable uranais et tessinois.

Une commission d'exploitation intercantonale a été nommée responsable du service et de l'entretien du tunnel. Les deux chefs d'exploitation de Göschenen et d'Airolo dépendent d'elle. A tour de rôle chacun d'eux organisera et coordonnera pour deux ans et pour tout le tunnel l'ensemble des tâches des équipes.

Dans les centres d'exploitation, des chefs d'équipes, électriciens, machinistes ainsi que diverses personnes pour l'entretien sont prêtes à intervenir. Le service de dépannage, le service sanitaire, la lutte anti-incendie en cas de catastrophe, ainsi que l'approvisionnement en énergie électrique et en eau sont réglés contractuellement avec les communes ou diverses institutions privées.

Fig. 11. — Emplacement du centre de manutention d'Airolo; les travaux sont presque achevés.

7. Coûts et financement

Les coûts totaux pour la réalisation des 17 km du tunnel routier du St-Gothard avec le projet, la direction des travaux, l'acquisition des terrains, la construction et l'équipement électromécanique, s'élèvent à environ 686 millions de frs. Cette somme correspond environ à 380 millions de frs de plus que le budget prévu pour le projet d'exécution initial au prix de base 1968, soit un dépassement de 130% environ. Ces coûts supplémentaires se justifient de la manière suivante: renchérissement: 186,7 mio frs (40%); prestations dues à des difficultés géologiques non prévues: 99,2 mio frs (26%); adjonctions techniques nécessaires: 39,4 mio frs (10%); prestations supplémentaires des ingénieurs: 9,3 mio frs (3%); installations diverses pour la construction: 5 mio frs (1%); diverses mesures d'ordre technique pour certains imprévus y compris le lancement de l'attaque intermédiaire par le puits d'Hospental: 19,1 mio frs (5%); investissement préliminaire pour le futur deuxième tube: 21,5 mio frs (6%). On peut cependant constater que le montant des coûts totaux du tunnel routier du St-Gothard est sans autre comparable à celui des plus grands tunnels autoroutiers de longueur semblable, à l'exception de celui de l'Arlberg, semble-t-il.

Le financement a été supporté à 97% resp. 92% par la Confédération; le reste correspond à la contribution des cantons d'Uri et du Tessin, la répartition des coûts s'étant faite selon le principe territorial. La part d'Uri est ainsi de 60% de la longueur, celle du Tessin de 40%.