Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 97 (1971)
Heft: 10: L'autoroute du Léman et ses ouvrages

Artikel: La réalisation des tunnels de Glion
Autor: Guisan, François
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71209

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: 05.07.2025

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

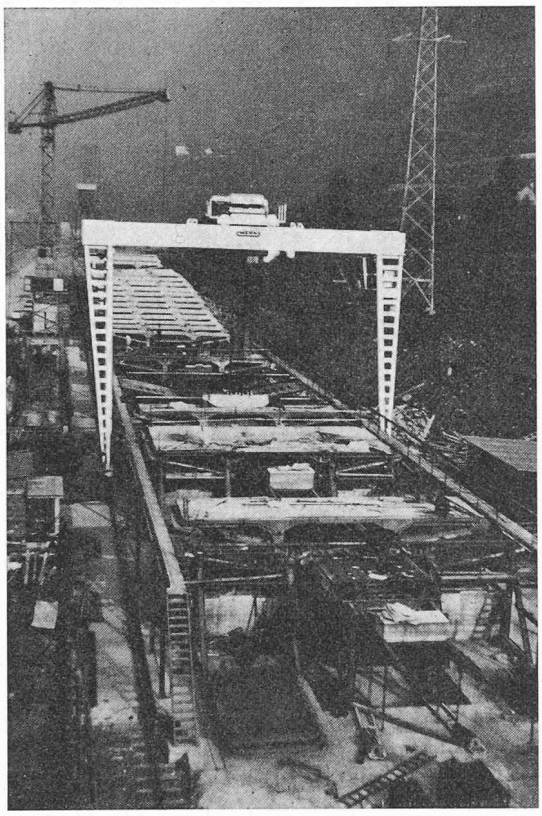


Fig. 8. — Vue générale de la préfabrication et du stockage.

auraient pu être surmontées sans répercussion sur la marche générale des travaux.

D'autre part, la capacité de production de l'usine de préfabrication, adaptée au rythme de montage du tablier, a permis une cadence de construction que les chiffres suivants mettent en évidence :

production hebdomadaire de l'usine :	22-24 pièces
montage d'un portique :	8 jours
pose moyenne :	4-5 pièces/jour
pose en encorbellement :	8-10 pièces/jour
progression du tablier :	290 m par mois

Ce rythme optimum a été atteint après environ 2 à 3 mois.

5. Conclusions

D'innombrables problèmes se sont posés tout au long de la construction de cet ouvrage d'art pour lequel on a fait appel à des techniques nouvelles. La réussite de cette opération n'a été concevable que par un travail en équipe et une intense collaboration entre ingénieurs et entrepreneurs ; mais l'enthousiasme qui a animé chacun, touchant de près ou de loin à la construction, n'est pas étranger au succès de l'opération.

Des risques nombreux ont été pris en connaissance de cause par le bureau d'ingénieurs et le consortium d'entreprises qui, respectivement, ont proposé et exécuté un tel travail. Il faut également se féliciter du risque pris par le maître de l'ouvrage en acceptant une telle réalisation.

La réalisation des tunnels de Glion

par FRANÇOIS GUISAN, ingénieur civil EPFL-SIA

1. Introduction

Les travaux souterrains présentent presque toujours certains aléas qu'il est souvent difficile de réduire, malgré tout le soin que l'on portera à déterminer le mieux possible à l'avance les conditions géologiques, géotechniques et hydrauliques que l'on rencontrera. Il arrive que l'on soit amené à changer en cours d'exécution les méthodes de réalisation que l'on s'était proposé d'appliquer. Parfois même, certaines caractéristiques du projet doivent-elles être aussi revues et faire l'objet d'adaptations.

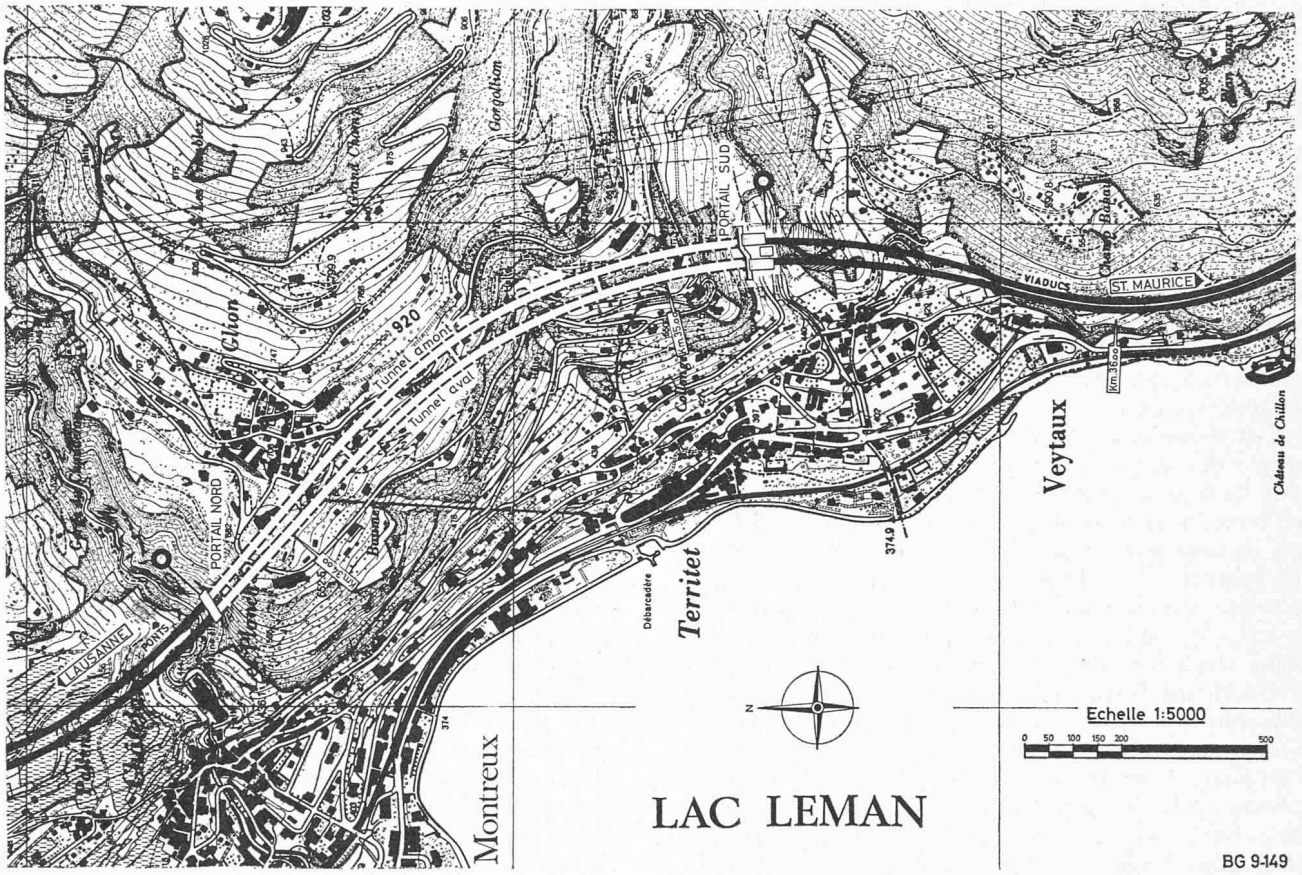
Les tunnels de Glion sont un exemple récent de tels processus ; la description de cet ouvrage et de la façon dont il a été réalisé nous paraît intéressante, dans la mesure surtout où il montre que l'on a dû et pu faire face à des conditions qui n'étaient pas connues au départ. C'est pourquoi, après une description du projet, nous mettrons ici davantage l'accent sur les modes de réalisation et sur les adaptations qu'il est apparu judicieux d'apporter pour pouvoir terminer dans les délais voulus un ouvrage qui remplisse complètement les objectifs fixés.

2. Description de l'ouvrage

L'autoroute du Léman (N 9), descendant des hauts de Vevey en direction de la plaine du Rhône, traverse l'éperon rocheux qui domine Montreux, au moyen d'un important ouvrage souterrain, qui doit son nom au village situé sur l'éperon.

Chacun des tunnels, d'environ 1350 m de longueur (fig. 1), présente une courbe de 1000 m de rayon maximum et une pente longitudinale de 2,3 % pour le tunnel aval (voie descendante) et de 2,6 % pour le tunnel amont (voie montante). Les deux galeries sont écartées de 12 m au portail nord et de 40 m au maximum au milieu de leur longueur. Elles comportent chacune une chaussée de 7,75 m et des trottoirs de 1 m à droite par rapport au sens de la circulation et de 0,5 m à gauche. Le revêtement, d'épaisseur variable selon la nature de la roche, est réalisé par du béton coffré, sans dispositif d'étanchéité. A l'intérieur du profil ainsi obtenu, une structure d'éléments en béton armé préfabriqués forme des piédroits isolés du revêtement et un plafond ; cette structure ménage ainsi à la fois une gaine d'amenée d'air frais d'environ 12 m² de section, dans la partie supérieure du tunnel, et les vides nécessaires pour les canaux de distribution de l'air de part et d'autre de la chaussée (fig. 2).

Pour chaque tunnel, la ventilation est assurée par deux stations de pulsion d'air frais situées à ses deux extrémités. Chaque station est équipée, pour le tunnel descendant, d'un ventilateur débitant 70 m³ par seconde et pour le tunnel montant de deux ventilateurs garantissant un débit



Autorisation de la Direction fédérale des mensurations du 24.1.1971.

Fig. 1. — Situation des ouvrages.

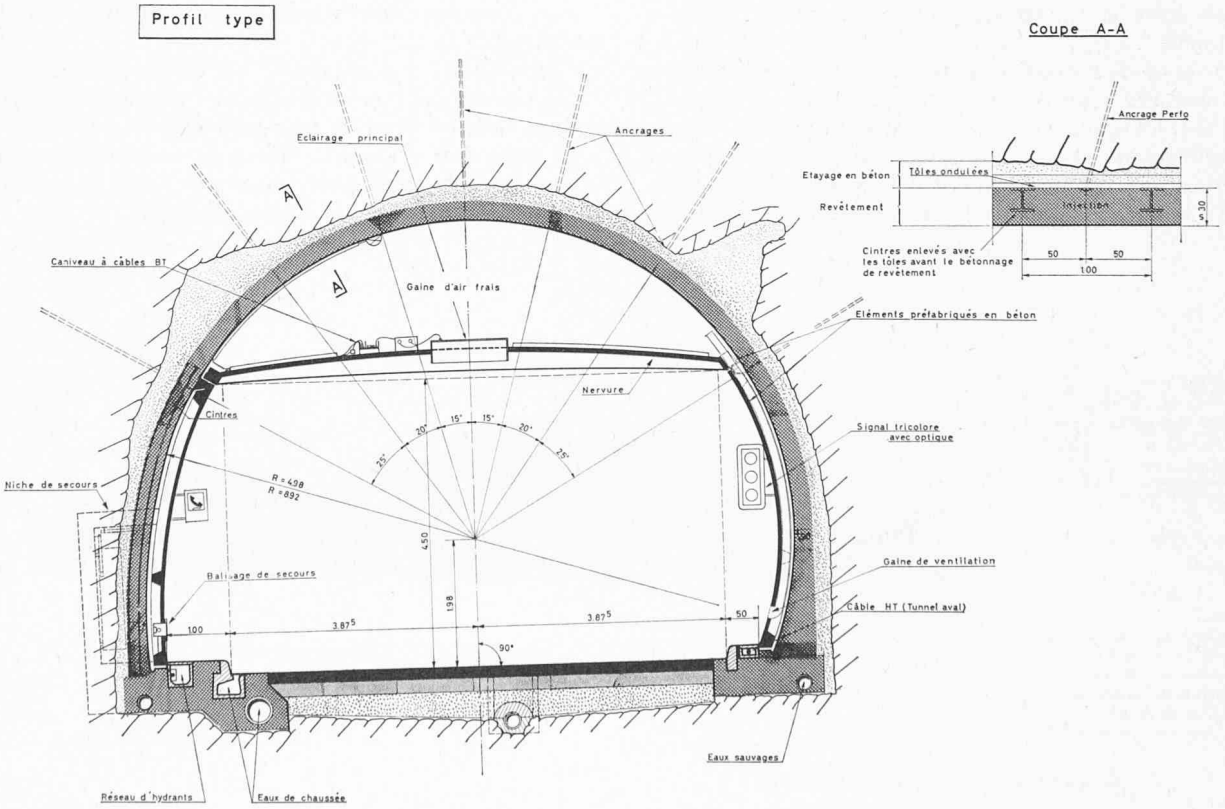


Fig. 2. — Profil type d'un tunnel

de 208 m³ par seconde. Au total, la ventilation débite donc 556 m³ par seconde et absorbe une puissance d'environ 430 kW. L'air frais aspiré à l'extérieur est pulsé dans les gaines supérieures et distribué dans les tunnels par des bouches réglables placées à 1 m au-dessus du sol, de part et d'autre de chaque chaussée, tous les 12 m dans le tunnel aval et tous les 6 m dans le tunnel amont.

Les stations de ventilation sont, du côté sud, aménagées dans des constructions extérieures comportant une structure porteuse en acier. Les ventilateurs sont munis de clapets mobiles à fermeture automatique, ainsi que, du côté aspiration, de dispositifs d'insonorisation. Du côté nord, où la place faisait défaut à cause de la raideur de la falaise rocheuse, les stations ont été aménagées en caverne, en plein rocher.

Des dispositions ont été prises pour éviter le « recyclage » de l'air vicié : du côté sud, simplement par la situation de la prise d'air qui aspire l'air frais vers le haut, et en retrait de la sortie d'air vicié du tunnel ; du côté nord, où les deux portails sont très proches l'un de l'autre et où les prises d'air sont situées dans le même plan vertical que les sorties des tunnels, il a fallu prévoir un auvent de grandes dimensions muni de tympans pour éviter une réintroduction de l'air vicié dans le tunnel.

L'éclairage des tunnels, pour des raisons d'économie d'énergie électrique, n'est pas réalisé par des bandes continues comme c'est souvent le cas dans des ouvrages à l'étranger. Pour diminuer l'effet désagréable qui peut résulter, pour l'usager, de l'emploi d'un éclairage discontinu, on a choisi des luminaires éclairant les piédroits et la chaussée et encastrés dans le plafond de telle sorte qu'ils sont normalement invisibles de la part des conducteurs de voitures. Pour faciliter l'obtention de ce résultat, les éléments de béton constituant le plafond ont été pourvus de nervures sur leur face inférieure. Au surplus, une série de régimes différents et de zones différentes dans l'éclairage ont été aménagés pour créer les indispensables transitions entre la lumière du jour extérieure et l'intérieur du tunnel [1].

Parmi les autres équipements nécessaires à l'exploitation des ouvrages, citons les appareils de mesure de la teneur en CO et les opacimètres qui enclenchent différents régimes de ventilation ; les dispositifs de mesure de l'éclairement extérieur qui commandent les différents régimes d'éclairage ; les téléphones de secours et les extincteurs, à disposition du public ; les bornes hydrantes, le balisage lumineux de secours, etc.

Enfin, un groupe électrogène de secours est installé dans le bâtiment de service, au portail sud : il a pour but d'assurer l'énergie nécessaire à un éclairage minimum des tunnels, en cas de défaillance de l'alimentation par le réseau.

L'ensemble de l'équipement permet, en exploitation normale, un service sans personnel permanent. Des dispositifs de signalisation appropriés assurent automatiquement la surveillance et alertent, si nécessaire, le centre d'exploitation de Rennaz qui, lui, est desservi en permanence.

3. Conditions géologiques et hydrologiques

La structure de l'éperon traversé par les tunnels est caractérisé par la présence, à environ 450 m du portail sud, de l'anticlinal du Gorgoillon.

La formation géologique a été reconnue, au préalable, par une série de forages ; en outre, avant la mise en soumission des travaux, on a creusé, sur environ 400 m de longueur, une galerie de reconnaissance dans l'axe du tunnel sud et au niveau de son radier.

Ces travaux de prospection ont permis de dégager de façon relativement complète les différentes zones que l'on allait rencontrer du sud au nord, et qui sont indiquées sur la coupe géologique (fig. 3). Il faut noter les deux points importants suivants : dans les 230 premiers mètres, on aurait affaire à des schistes friables, s'altérant très rapidement et fortement, surtout dans deux zones respectivement de 40 et 10 mètres de longueur.

Dans le Trias, des problèmes se présenteraient certainement du fait de la présence de dolomies par place cornieulisées et tendres ; dans cette même zone, une forte nappe aquifère, sous pression, ferait sentir ses effets et devrait être le plus possible rabattue par des forages ; enfin, les eaux y seraient séléniteuses et pourraient contenir plus de 1000 mg/l de sulfates.

En résumé, ce n'est que dans le dernier tiers de chacun des tunnels que l'on ne devait pas s'attendre à des conditions difficiles. Pour les deux premiers tiers, on savait que les conditions varieraient beaucoup, mais resteraient toujours difficiles, nécessitant l'emploi de toutes les ressources de la technique pour leur franchissement.

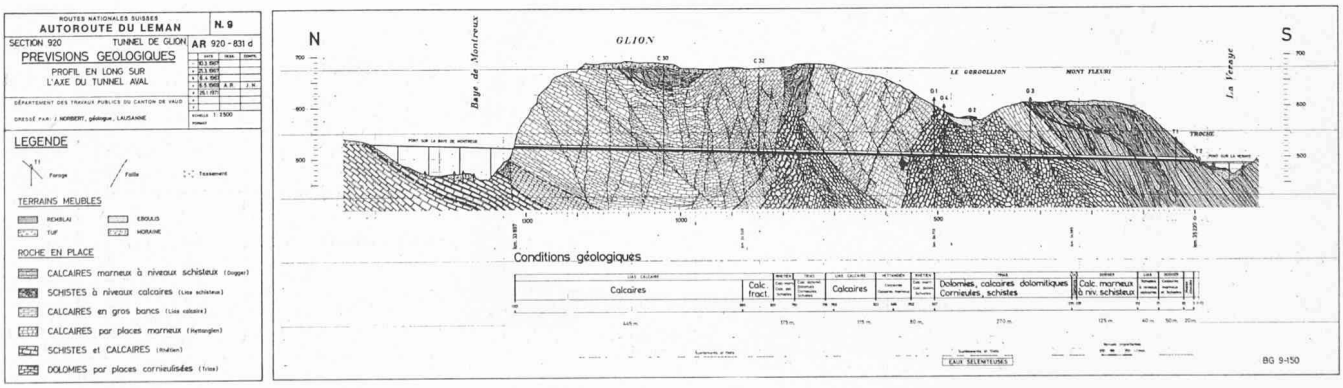


Fig. 3. — Coupe géologique le long du tunnel aval

[1] Cf. *Bulletin technique de la Suisse romande*, nº 23, du 18 novembre 1967.

4. Méthodes d'exécution prévues

Le programme d'exécution des travaux devait tenir compte impérativement des délais suivants : étant entendu que, pour des raisons de crédit, il n'était pas possible d'ouvrir le chantier avant janvier 1968, il fallait cependant que les tunnels soient prêts à être ouverts au trafic avant la fin de 1970, c'est-à-dire au moment où les autres ouvrages du tronçon Vevey-Rennaz de l'autoroute pouvaient également être mis en service.

Il est important de noter que la configuration des lieux excluait l'accès par le nord tant que les ponts sur la Baye de Montreux ne seraient pas construits, soit avant fin 1968. L'attaque ne pouvait donc se faire que par le sud où d'ailleurs la place était fort limitée pour l'aménagement des installations de chantier. Enfin, tant que l'un au moins des viaducs de Chillon, au sud des tunnels, ne serait pas achevé, tout le trafic lourd de chantier (évacuation des déblais) devrait se faire par des voies étroites, sinueuses et encombrées d'un trafic public particulièrement dense.

En ce qui concerne les techniques d'excavation, il fallait distinguer deux zones différentes pour chaque tunnel : depuis le sud, environ 900 m de roche mauvaise à très mauvaise nécessitant des moyens de soutènement importants ; puis environ 450 m de bon rocher, ne nécessitant que des renforcements simples (clous et béton projeté localement). Tenant compte de ces conditions, l'entreprise adjudicataire a choisi d'utiliser dans toutes les mauvaises roches, un « bouclier » partiel. Ce bouclier était en fait un chariot de travail à structures très renforcées et muni d'une tôle de protection épaisse ; il n'était pas fermé à l'avant. En fait, c'était plutôt un solide engin assurant à la fois une protection de la zone de travail et un soutènement provisoire des terrains. Il pouvait être avancé par étapes de 1,2 m sur des glissières métalliques massives au moyen de 20 verins pouvant exercer une force totale de 1600 tonnes. La tôle de protection de 25 mm débordait d'environ 2 m sur l'arrière, permettant au besoin de préparer à l'abri de la « jupe » ainsi formée un soutènement par cintres métalliques de n'importe quelle dimension. Le programme suivant a donc été choisi :

— Préparation d'une avant-excavation à l'entrée sud du tunnel amont, afin de disposer de la place nécessaire pour le montage du bouclier. En effet, le poids de ce dernier (150 tonnes) ne permettait pas un montage sur le pont récemment achevé de la Veraye.

— Avancement normal avec, dans certaines zones, pose derrière le bouclier de cintres de différentes dimensions et, cas échéant, de « marchavants » ; pose de béton projeté (éventuellement aussi sur le front d'attaque), en attendant le revêtement en béton coffré. On prévoyait naturellement aussi l'emploi intensif de clous dont les caractéristiques les mieux appropriées aux différents terrains rencontrés avaient pu être testées dans les galeries de reconnaissance.

— Simultanément, prolongation de la galerie de reconnaissance jusqu'à l'extrémité du tunnel aval, afin non seulement de disposer de renseignements encore plus précis sur la partie nord des tunnels, mais aussi pour exercer un certain drainage des eaux souterraines.

Il était imposé à l'entreprise de prendre les mesures nécessaires pour que, si le besoin s'en faisait sentir, il soit possible de bétonner le revêtement derrière le bouclier, là où des poussées ou des désordres dans le terrain étaient à craindre, et ceci, sans compromettre le programme des travaux.

Dès que l'avancement du tunnel amont aurait atteint la zone de bon rocher, il serait poursuivi, toujours à pleine section, mais sans utilisation du bouclier qui serait démonté et mis en œuvre dans le tunnel aval. Suivraient enfin les opérations de bétonnage à forte cadence, injections de calage et d'étanchéité, puis pose des éléments préfabriqués et montage des équipements.

Notons enfin que le projet ne prévoyait pas la mise en place d'un dispositif d'étanchéité dans le revêtement. Il a en effet été jugé préférable de capter et de collecter aussi soigneusement que possible les eaux de source et de veiller à ce qu'aucune traversée des éléments préfabriqués par de l'eau ne puisse se produire. A cet effet d'ailleurs, un programme d'essais rigoureux et exigeants avait été mis en œuvre chez le fabricant des éléments afin de s'assurer que malgré leur faible épaisseur (4 cm), ces éléments étaient étanches.

Les stations extérieures, ainsi que le bâtiment de service prévu du côté sud, ne posaient pas de problèmes particuliers si l'on excepte les difficultés de leur édification sans perturbation des accès aux travaux dans les tunnels.

5. Déroulement des travaux

Après avoir procédé, dès janvier 1968, à l'aménagement des installations de chantier, on a donc attaqué, d'une part, la prolongation de la galerie de reconnaissance et, d'autre part, l'amorce à pleine section du tunnel amont sur une longueur suffisante pour permettre le montage du bouclier. Cette attaque était faite avec beaucoup de précautions pour éviter l'ébranlement de la roche dont on connaissait la mauvaise qualité ; l'on procédait en outre simultanément à la pose de cintres de soutènement.

En avril 1968, quelques mouvements apparurent qui obligèrent à renforcer les cintres et à améliorer leur blocage contre le rocher au moyen de béton. Mais le 8 mai 1968, de nouveaux désordres se manifestaient de manière plus accusée. L'on commença alors à renforcer davantage encore les dispositifs de soutènement. Simultanément, on entendait des craquements dans deux immeubles situés sur la colline à environ 100 m du chantier et l'on constatait l'apparition de fissures importantes, des mouvements de terrains et, enfin, la rupture d'une canalisation ; en même temps, on apprenait qu'une conduite d'eau s'était déjà rompue un mois auparavant. Devant ces faits, on a dû se résoudre à évacuer le chantier.

Le 13 mai 1968, après trois journées fortement pluvieuses, un énorme éboulement se produisait entraînant environ 15 000 m³ de terre végétale, de blocs de pierre et de rocher. L'éboulement non seulement dissimulait complètement l'entrée du tunnel amont et la galerie de reconnaissance aval, mais recouvrait aussi partiellement les

Fig. 4. — L'éboulement de mai 1968

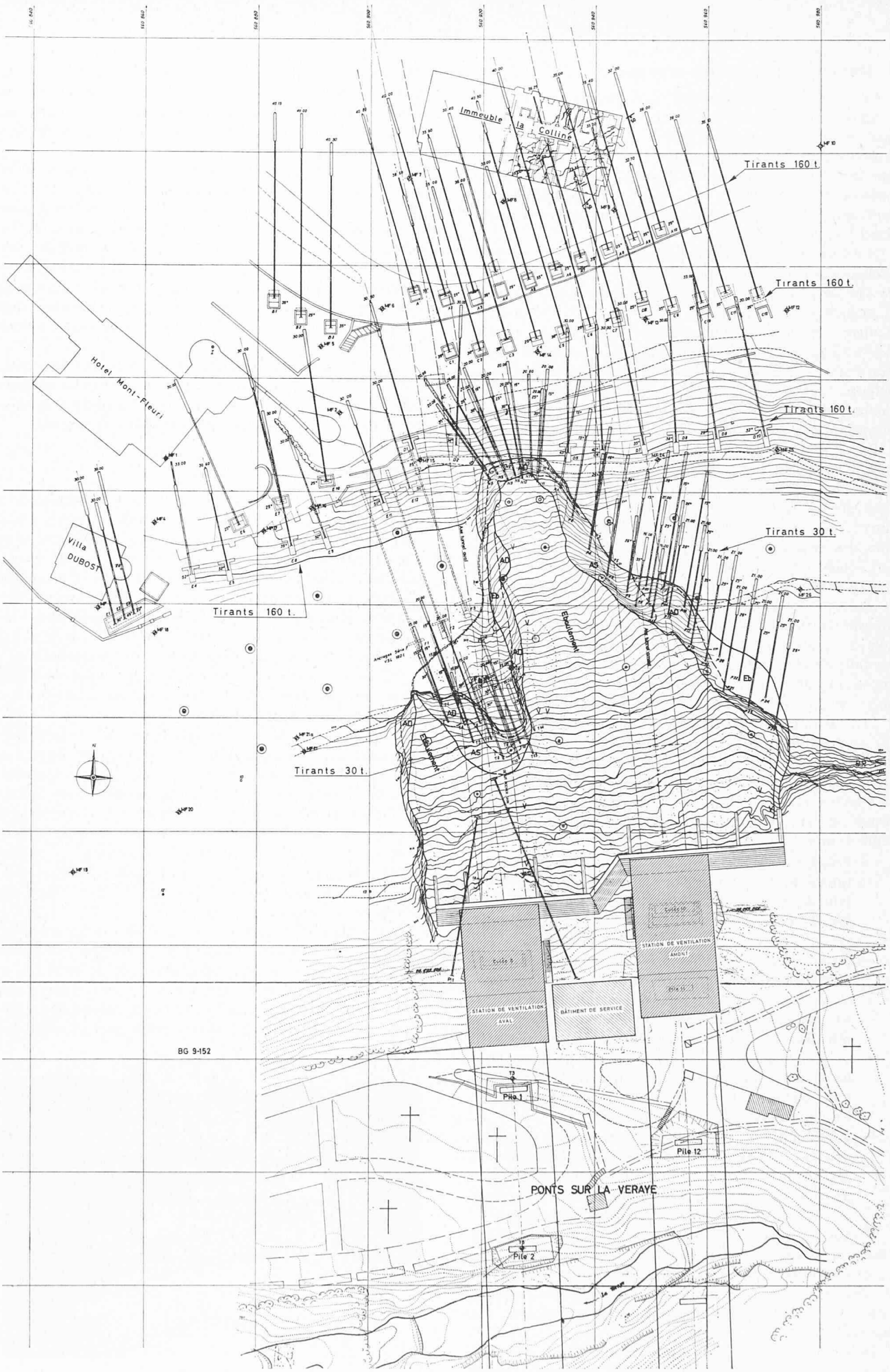


Fig. 5. — Disposition des tirants de stabilisation.

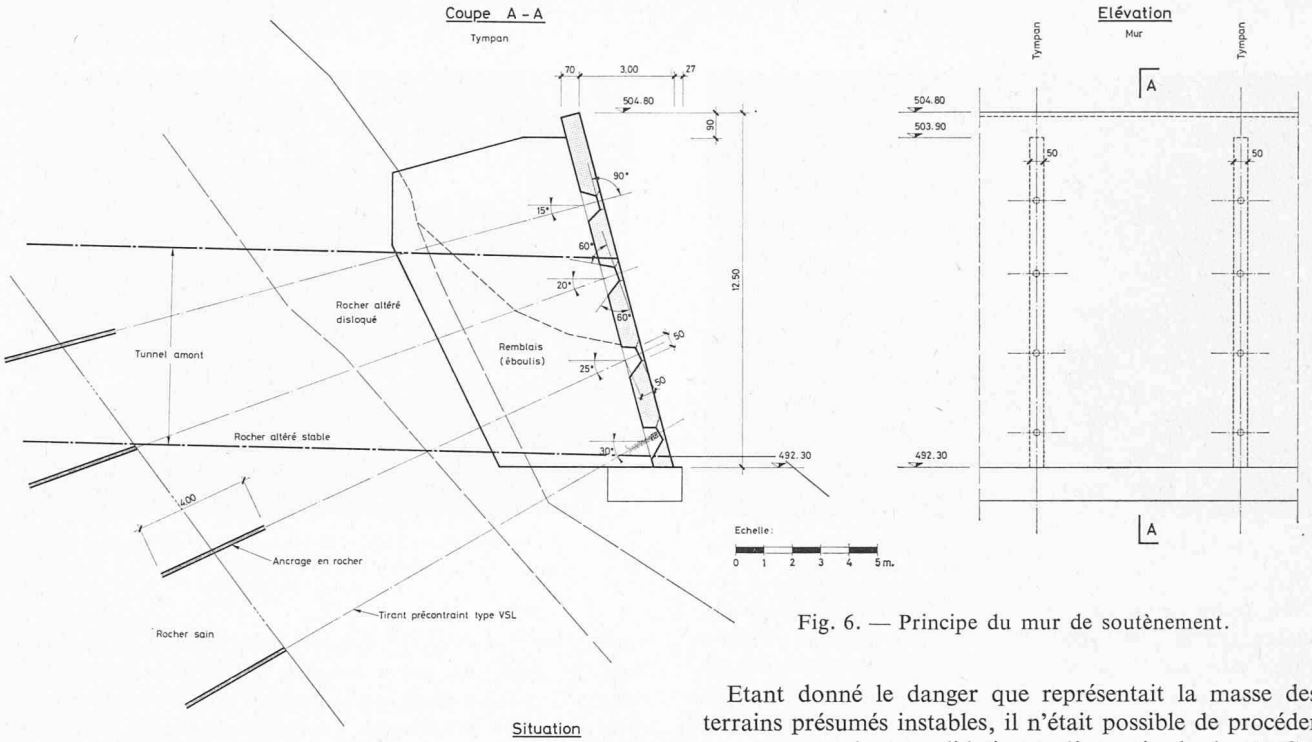
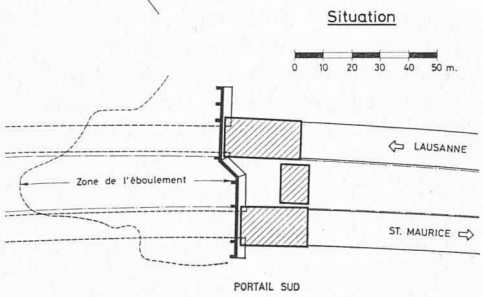


Fig. 6. — Principe du mur de soutènement.



ponts sur la Veraye (fig. 4). En outre, au-dessus de l'éboulement proprement dit, les terrains s'étaient mis en mouvement, et, d'un volume considérable, ils menaçaient gravement les chantiers.

Il en résultait non seulement que les travaux des tunnels étaient interrompus pour une durée encore inconnue, mais aussi qu'un immeuble qui venait d'être remis complètement à neuf était très gravement endommagé au point de nécessiter son évacuation par ses habitants ; d'autres immeubles, dont un hôtel, paraissaient être dans la zone de danger et devaient être évacués également ; d'importantes fissures sillonnaient les terres qui n'avaient pas participé à l'éboulement et démontraient leur instabilité.

Il est à remarquer que les emplacements des entrées des tunnels avaient été fixés précisément de telle sorte que l'on évite une zone de glissements anciens en se plaçant à l'amont de celle-ci, là où le terrain semblait n'avoir pas bougé.

Il n'y a pas lieu ici de discuter les causes sans doute très complexes de l'accident. Disons cependant qu'il s'est alors avéré que toute la colline avait déjà dans le passé donné lieu à des mouvements superficiels ; que l'introduction accidentelle d'eau de manière importante dans le terrain au-dessus de la zone intéressée n'a certainement pas été sans jouer un rôle déterminant pour l'accident. Quoi qu'il en soit, il était évidemment impossible de reprendre les travaux d'excavation avant d'avoir pris des mesures garantissant la stabilité de l'ensemble des terrains encore en place.

Quelque vingt-cinq sondages de reconnaissance ont été immédiatement exécutés afin de déterminer aussi bien que possible les différentes surfaces de glissement ; des triangulations et des nivellements de précision ont été effectués; des mesures au clinomètre ont été faites dans les sondages; enfin, on a essayé de mesurer les mouvements au moyen d'un pendule inversé placé dans un sondage de fort diamètre.

Etant donné le danger que représentait la masse des terrains présumés instables, il n'était possible de procéder aux travaux de consolidation qu'à partir du haut. Ces travaux de consolidation ont consisté essentiellement en la pose de câbles de précontrainte ancrés en profondeur dans les zones réputées stables. Au total, il a été utilisé 2000 m de câbles de 160 tonnes et d'environ 40 m de longueur, ainsi que 1000 m de câbles de 30 tonnes d'environ 20 m de longueur (fig. 5).

En ce qui concerne la masse éboulée sur le chantier (environ 15 000 m^3), il est apparu moins risqué de la laisser en place que de l'enlever car elle constituait en quelque sorte une butée pour les terrains qui n'avaient pas bougé. Dès que la stabilisation des parties supérieures a permis de le faire sans risques, on a procédé à une reconnaissance par forage, afin de déterminer les zones de différentes natures dans l'éboulement (terre meuble, pierres, pans de rocher, etc.). Puis on a procédé à la couverture de l'ensemble de la zone d'éboulis sur 5400 m^2 par du béton projeté de 20 cm d'épaisseur moyenne et armé d'un treillis; puis à d'importantes injections de coulis de ciment dans toute la masse des matériaux éboulés, les transformant ainsi en un massif compact et stable. Pour la zone du portail amont, on a creusé une galerie de reconnaissance au faîte du profil théorique, afin d'une part de reconnaître « de visu » les différentes natures des éboulis et, d'autre part, pour déterminer ce qui pouvait éventuellement subsister de l'excavation déjà commencée du tunnel. Simultanément, on a construit en prolongation de la galerie de reconnaissance du tunnel aval et en partie sur le pont de la Veraye une protection lourde en béton armé qui avait pour but de permettre en toute sécurité l'accès à cette galerie pour la reprise de son avancement.

En même temps que l'on procédait à ces différents travaux, on a remanié le projet lui-même pour tenir compte des nouvelles conditions. C'est ainsi qu'il a été décidé d'assurer le pied de l'éboulement par la construction d'un grand mur de soutènement conçu comme un véritable bloc d'ancrage de 66,50 m de longueur et de 12,50 m de hauteur ; ce mur est ancré en profondeur au moyen de 32 tirants précontraints de 30 à 60 tonnes, le tout étant conçu pour ne pas exercer d'efforts verticaux sur le terrain. Ce bloc est naturellement percé par les deux tunnels et raidi par des tympans, bétonnés en tranchée dans l'éboulis préalablement stabilisé par le ciment injecté comme il est dit plus haut (fig. 6).

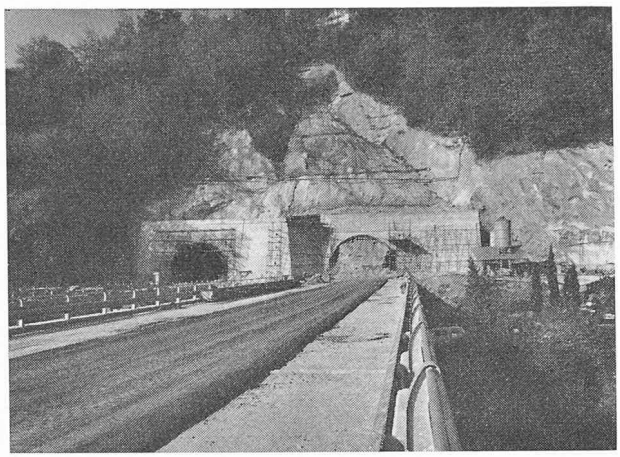


Fig. 7. — L'éboulement consolidé et le mur de pied.

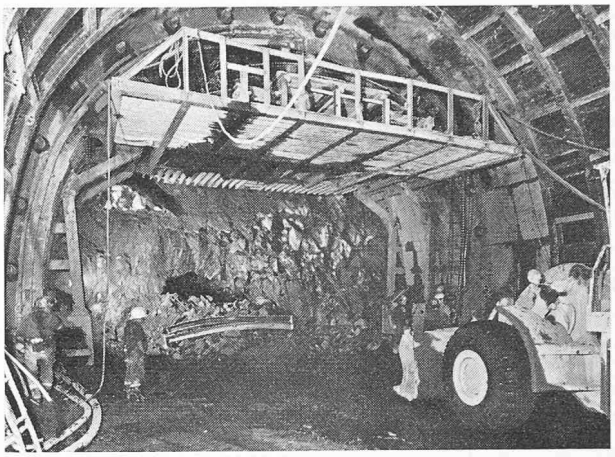


Fig. 8. — Le bouclier : on remarque sur son pourtour les vérins d'avancement et la jupe en tôle d'acier.

En outre, pour décharger au maximum les zones de roches altérées, le projet des stations a dû être modifié d'une part en allégeant au maximum les constructions prévues, qui seraient réalisées en charpente métallique au lieu du béton armé initialement prévu ; d'autre part, en les éloignant le plus possible du pied du talus et en les fondant sur des pieux s'appuyant sur la roche profonde. De même, et pour les mêmes raisons, le bâtiment de service a été descendu entre les deux ponts de la Veraye.

Les mesures de stabilisation et de consolidation, qui ont nécessité sept mois pour leur mise en œuvre, ont abouti au fait que l'on se trouvait de nouveau en mesure de reprendre les travaux d'excavation en février 1969 (fig. 7). Mais on avait malheureusement perdu douze mois sur un programme déjà extrêmement serré. Entre-temps, le premier pont sur la Baye de Montreux (le pont aval) était terminé. Il était alors possible d'attaquer le tunnel aval également par son extrémité nord : un nouveau chantier a donc été ouvert (comportant ateliers, matériel de chantier, dortoirs et cantine). Pour cette attaque, réalisée dans un calcaire de bonne qualité, un « Jumbo » équipé de six perforatrices lourdes a été mis en action.

Du côté sud, au lieu de reprendre le travail sur le tunnel amont, il était logique de s'attaquer d'abord au tunnel aval. Après avoir excavé « à la main » en pleine section dans les éboulis consolidés et à l'abri du mur d'appui, sur une longueur suffisante pour permettre le montage du bouclier sous une protection de cintres lourds, on a pu attaquer l'avancement proprement dit (fig. 8).

Lorsque la zone de l'éboulement a été franchie, il est vite apparu que les méthodes initialement envisagées (clouage et béton projeté) ne présenteraient pas sur des longueurs de tunnel suffisantes des garanties satisfaisantes de sécurité; la roche était plus souvent friable et boulante, s'altérant très rapidement ; l'excavation se faisait avec très peu d'explosif, parfois même sans explosif du tout ; l'on devait alors plus fréquemment faire appel aux méthodes d'étayage qui étaient prévues initialement seulement pour les zones spécialement mauvaises. On put en conclure que l'utilisation de cintres métalliques pourrait être avantageusement, notamment sur le plan des délais, généralisée et employée systématiquement dans chaque tunnel pour l'ensemble des 900 m en mauvaise roche ; et cela surtout si l'on arrivait à retirer les cintres après leur emploi. On a procédé à quelques essais et adopté finalement le système suivant. A l'abri de la jupe arrière du bouclier, des cintres métalliques, en général HEB 220, ont été montés. Leur espacement variait de 50 cm à 1 m suivant la plus ou moins mauvaise tenue de la roche. Derrière ces cintres qui leur servaient d'appui, des tôles métalliques ondulées légères étaient montées (fig. 9). Puis, dès que le bouclier était avancé, on procédait à la mise en place, par pompage, d'un béton de calage entre les tôles et la roche. Le travail était enfin complété par des injections de ciment pénétrant dans la roche et consolidant le tout. Certes, le béton ainsi mis en place ne pouvait pas être de très bonne qualité, car il était, parfois sur des zones importantes, mélangé à des matériaux souvent schisteux et argileux qui s'éboulaient derrière le bouclier ; il était en outre impossible de « purger » la roche. Cependant, et grâce aux injections qui suivaient, on réalisait un anneau de bonne compacité et d'une résistance suffisante ; à noter qu'en calotte et dans la partie supérieure des piédroits, cet anneau était d'autant plus épais que la roche était mauvaise et donc s'éboulait plus facilement. En revanche, des détritus s'amoncelaient au pied des parois et pouvaient empêcher la réalisation de l'anneau souhaité. Là, les injections ont été renforcées pour compenser cette faiblesse. Les résultats obtenus ont été très satisfaisants : on avait ainsi créé un véritable « étayage perdu » en béton et il a été possible ensuite, au moment du bétonnage du revêtement qui constituait la voûte porteuse définitive proprement dite, de récupérer tous les cintres qui avaient été posés ainsi qu'une bonne partie des tôles métalliques (voir fig. 10) ; ces dernières n'ont été abandonnées qu'aux endroits où, parce qu'elles adhéraient trop bien au béton de calage, leur enlèvement s'est révélé plus coûteux que leur valeur de récupération.

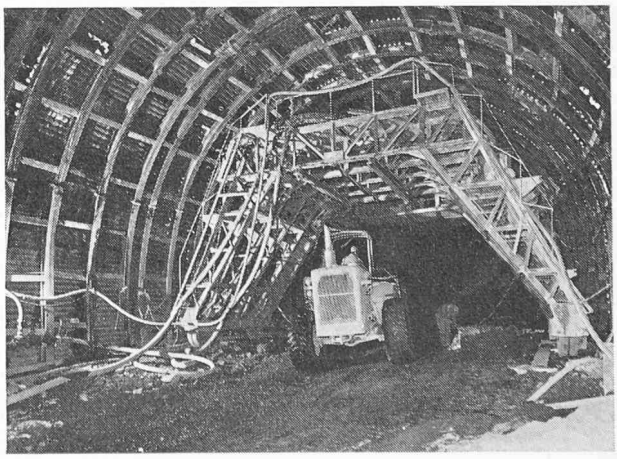


Fig. 9. — L'étayage métallique et le chariot destiné à la mise en place du béton d'étayage.

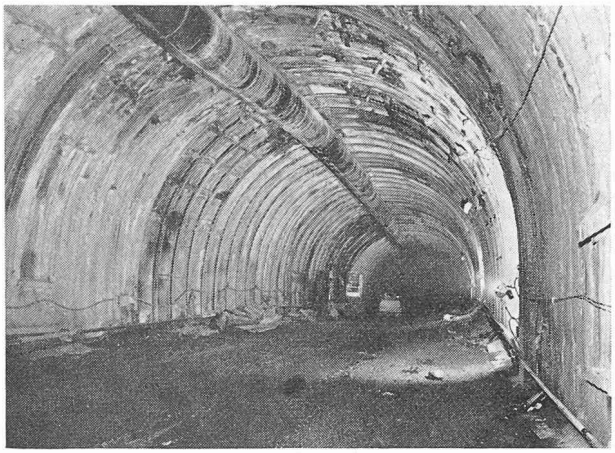


Fig. 10. — L'étayage métallique en cours de dépose.

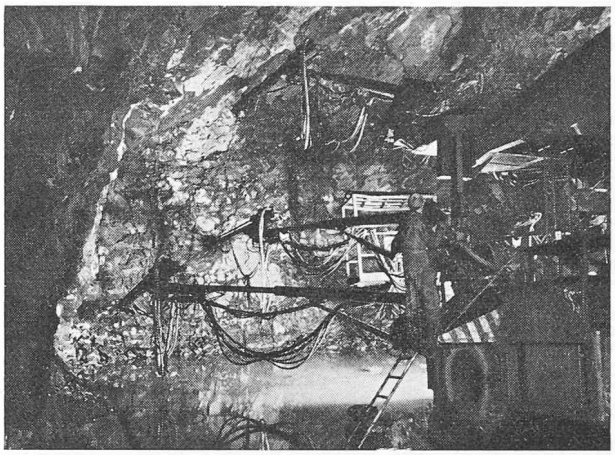


Fig. 11. — Attaque nord au jumbo.

Ce mode de faire présentait en outre trois avantages principaux : sur le plan de la rapidité, la méthode de travail était systématiquement toujours la même sur les 900 m de mauvaise roche. Il en résultait une avance plus rapide des équipes qui n'avaient pas à changer de technique ; seuls les espacements entre les cintres provisoires pouvaient varier.

En second lieu, le « béton d'étayage » et les injections avaient pour effet de diminuer sensiblement les venues d'eau et surtout de les concentrer, facilitant ainsi leur captage avant le bétonnage du revêtement.

En troisième lieu, le bétonnage du revêtement pouvait être réalisé à de bien meilleures conditions puisqu'il n'y avait pratiquement plus de hors-profils et que la surface était bien régulière ; le volume du béton dans la voûte porteuse était en outre réduit sensiblement.

On peut enfin dire que, grâce à cette méthode, on a obtenu une meilleure liaison du revêtement porteur à la masse rocheuse. En effet, grâce d'une part aux rainures horizontales laissées par les tôles ondulées et d'autre part aux injections systématiques, on disposait, l'ouvrage étant terminé, d'un ensemble très efficacement lié de plusieurs éléments s'appuyant les uns aux autres et on réalisait une transition favorable entre les caractéristiques de la roche naturelle et le béton de revêtement. Cela a en outre été une raison supplémentaire de renoncer au radier inversé qui avait été initialement prévu en certains endroits. En fait, par mesure de sécurité, on a réalisé ce radier inversé dans la zone des éboulis, mais nulle part ailleurs.

En même temps que l'on progressait ainsi depuis le front d'attaque sud dans la mauvaise roche, le chantier nord avançait à raison d'environ 9 m par jour à pleine section dans le calcaire de bonne qualité, au moyen d'un engin automoteur équipé de six perforatrices lourdes (fig. 11). La sécurité était assurée par des ancrages et, en quelques endroits, par du béton projeté ou même la pose de cintres et de béton de calage.

Lorsque le tunnel aval a été percé et le béton mis en place derrière les coffrages métalliques (fig. 12), les canalisations ont été posées et les trottoirs bétonnés. Enfin, on a procédé à la pose et à la fixation des éléments préfabriqués (fig. 13). Les éléments de paroi de 3 m de longueur et pesant 2,7 tonnes étaient posés au moyen d'un engin muni d'une pince orientable ; ils reposent dans une rainure ménagée dans le trottoir et sont fixés dans leur partie supérieure par trois boulons ancrés dans le béton de revêtement. Les éléments du plafond également de 3 m de longueur et de 8 m de portée, pèsent environ 7 tonnes chacun ; mis en place au moyen d'un autre engin, ils reposent sur les élé-

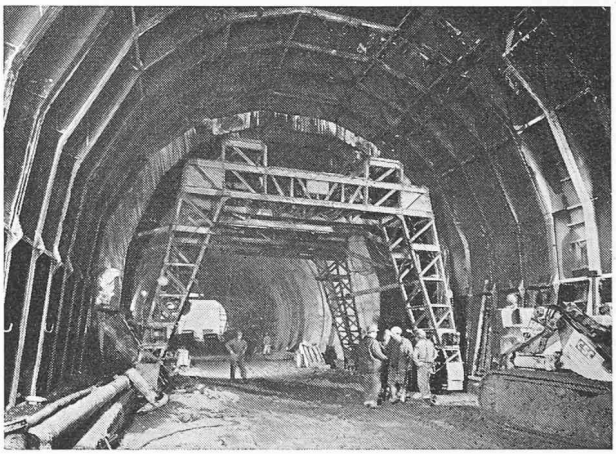


Fig. 12. — Coffrage du béton de revêtement.

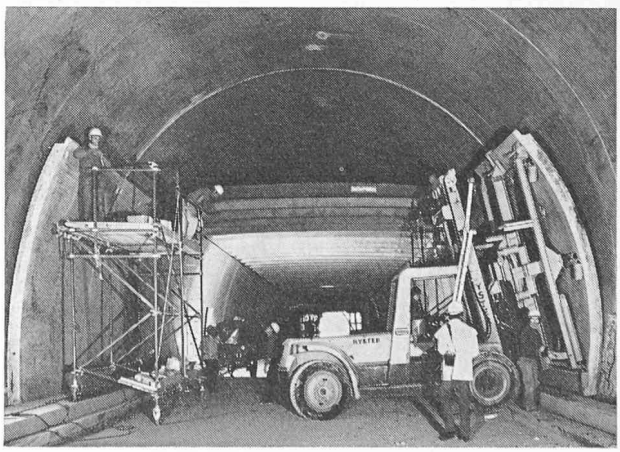


Fig. 13. — Pose d'un élément préfabriqué de piédroit.

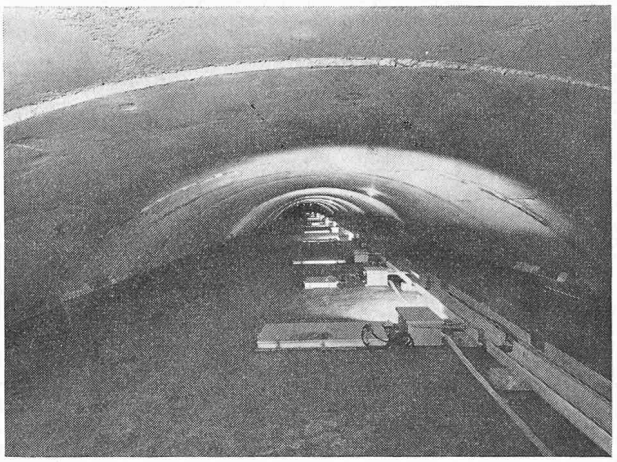


Fig. 14. — La gaine de ventilation avec les boîtiers de luminaires ; de part et d'autre, on voit les gaines réglables de distribution de l'air frais.

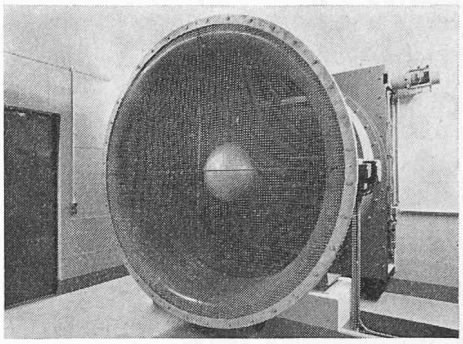


Fig. 15. — Un ventilateur (portail sud du tunnel aval).

ments de paroi par l'intermédiaire de joints plastiques et sont scellés au mortier.

Dans toute la zone où se rencontrent des eaux séléniteuses, le béton a été fait avec du ciment Sulfix ; de plus, les éléments préfabriqués ont été protégés par un enduit bitumineux sur leur face extérieure (côté rocher). On s'était au préalable assuré, par des essais, que cet enduit d'un type spécial était en mesure de résister en cas d'incendie dans le tunnel.

Les équipements du tunnel (les gaines de ventilation étaient déjà préalablement fixées sur les éléments préfabriqués) ont été placés, grâce à une bonne planification, extrêmement rapidement : canalisations d'eau et d'électricité courant fort et faible, dispositifs de mesures de l'opacité et de la teneur en CO, signalisation, téléphone, incendie, etc.

C'est ainsi qu'en octobre 1970, c'est-à-dire dans les délais primitivement fixés, le premier tunnel pouvait être ouvert au trafic.

Au moment où a été écrit cet article, le deuxième tunnel n'est pas encore percé ; cependant si aucune nouvelle surprise ne se manifeste, on peut prévoir sa mise en service pour l'automne 1971.

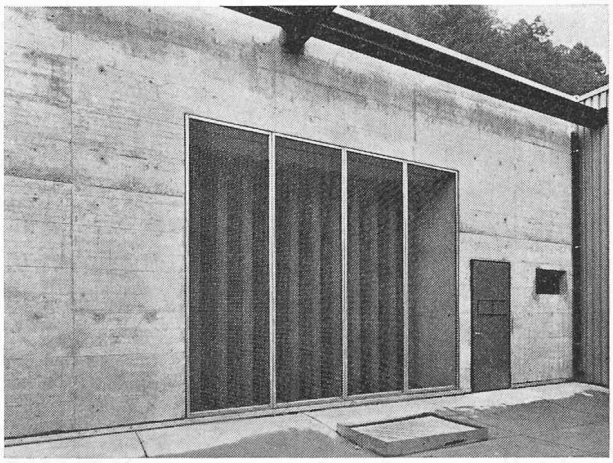


Fig. 16. — La grille d'entrée de l'air frais au portail sud aval ; remarquer, derrière le grillage, les filtres d'insonorisation.

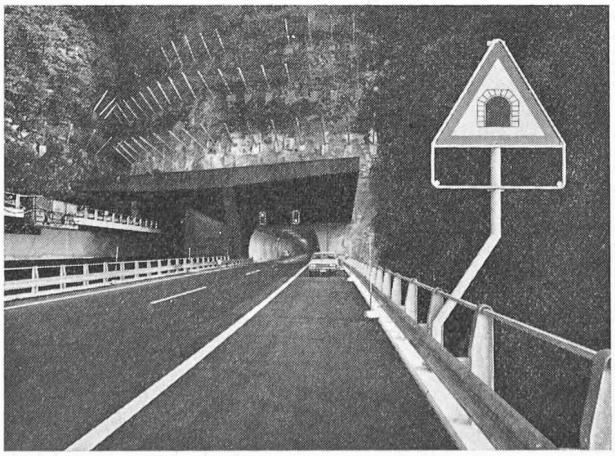


Fig. 17. — Le portail nord

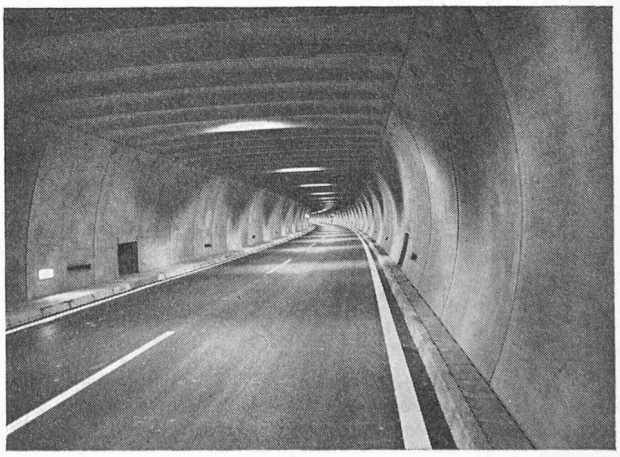


Fig. 18. — Le tunnel aval avant sa mise en service. Remarquer la construction du plafond nervuré et la dissimulation des sources lumineuses, ainsi que, sur les côtés, les bouches d'air frais, l'éclairage de balisage et les niches de secours.

Photos Germond