

Les tunnels du Flonzaley

Autor(en): **Pfister, Ivan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **99 (1973)**

Heft 10: **L'autoroute du Léman et ses ouvrages**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71671>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

de déceler, dans un terrain fortement remanié tel que celui du Lavaux, tous les accidents locaux du sol. Ce n'est qu'à l'ouverture des fouilles, voire même lors de l'amorce de certains glissements locaux, que les conditions réelles du terrain ont pu être perçues.

Lors de notre étude nous nous sommes efforcés de trouver des solutions de murs adaptées aux conditions locales du terrain et nécessitant un minimum de main d'œuvre. Au mur « pieux » du Lanciau nous y sommes parvenus. Ce n'est, en revanche, que partiellement le cas pour le mur à contreforts du Crau Coulet. L'irrégularité de la surface arrière de cet ouvrage a, en effet, exigé un important travail manuel de découpage de la molasse.

5. Exécution

Les entreprises suivantes, dont nous nous plaignons à reconnaître le meilleur esprit de collaboration pour la mise au point de solutions particulières, ont construit les ouvrages décrits dans ces lignes :

Lot 421	Murs poids		
	Mur « pieux »		
	Entreprise	Cuénod et Payot S.A.	
	Entreprises	Losinger S.A.	} pieux } ancrages
		SIF Groutbor S.A.	
		Précontrainte S.A.	
Lot 415	Murs à contreforts		
	Entreprises	P. Chapuisat	
		Injectobohr	} ancrages
		Freyssinet S.A.	

Lot 422	Murs à contreforts		
	Entreprises	H. Marti S.A.	
		SIF Groutbor	} ancrages
		Freyssinet S.A.	

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. A. LEONARDS : *Les Fondations*. Dunod, Paris 1968.
- [2] A. CAQUOT et J. KERISEL : *Traité de Mécanique des sols*. Gauthier — Villars, Paris 1966.
- [3] K. G. STAGG and O. C. ZIENKIEWICZ : *Rock Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons, Londres 1968.
- [4] J. A. TALOBRE : *La mécanique des roches*. Dunod, Paris 1967.
- [5] P. LÜTHI : *Anwendungsmöglichkeiten vorgespannter Alluvialanker*. Schweizerische Bauzeitung, 16.3.1967.
- [6] W. WITTKÉ : *Standstabilitätsberechnung von Felsböschungen*. Verein Deutscher Ingenieure-Zeitschrift, Düsseldorf, Juin 1968.
- [7] W. WITTKÉ : *Influence of the Shear Strength of the Joins on the Design of Prestressed Anchors to Stabilize a Rock Slope*. Proceedings of the Geotechnical Conference. Oslo 1967, vol. 1.

Adresse de l'auteur :

P. Amsler, ingénieur au bureau J. C. Ott, Ingénieur-conseil
13, chemin Rieu
1208 Genève

Les tunnels du Flonzaley

par IVAN PFISTER, sous-directeur de la Compagnie d'Etudes de Travaux Publics SA

1. Description générale de l'ouvrage

Les tunnels du Flonzaley, situés sur le territoire de la commune de Puidoux, lient le vallon de la Cornallaz au plateau du Verney. Le tracé est en légère courbe et le profil en long faiblement incliné vers l'Est.

Les caractéristiques des tunnels sont les suivantes :

a) longueur	:	env.	700 m
b) rayon de courbure	:	tunnel amont	1600 m
		tunnel aval	2500 m
c) pente	:	tunnel amont	1,9 %
		tunnel aval	1,7 %
d) profil type	:	correspondant au gabarit pour route nationale de première classe	

Aux portails Est, les tunnels du Flonzaley passent, avec une couverture de 8 à 10 m, sous les voies CFF des lignes Vevey-Chexbres et Lausanne-Berne.

Une des principales difficultés était de réaliser l'ouvrage sans provoquer de tassement des voies de chemin de fer et des bâtiments voisins (station transformation CFF en particulier).

A la sortie Ouest, la piste de chantier Puidoux-Grandvaux coupe le versant Est du vallon de la Cornallaz à une dizaine de mètres au-dessus de la calotte.

Là également, il était de toute importance de ne pas perturber le trafic de cette route desservant les autres chantiers de la région.

2. Géologie

La croupe du Flonzaley est constituée de molasse dont les couches, peu inclinées, sont recouvertes d'une moraine d'épaisseur variable. Cette épaisseur est d'environ 20 m au portail Est et se réduit à zéro au portail Ouest.

a) Zone Est

Cette moraine, traversée sur une longueur de 60 m environ par les tunnels, est de formations très diverses. Nous trouvons : à la base une moraine de fond, faite d'argile glaiseuse et limoneuse, contenant quelques blocs, lentilles de limon et sable graveleux ; au-dessus une moraine latérale hétérogène, limoneuse et graveleuse. Toute la masse est fortement humide et renferme une nappe d'eau à quelques mètres de profondeur. Cette moraine est elle-même localement recouverte des déblais provenant de l'excavation du tunnel de chemin de fer et constituant l'infrastructure des voies.

b) Zone Ouest

A l'emplacement des portails Ouest des tunnels, le flanc de la colline du Flonzaley est formé de couches molassiques



(Photo Germond)

Fig. 1. — Vue générale de l'emplacement des tunnels.

marno-gréseuses ; près de la surface, ces couches, fortement affaiblies par leur fissuration et leur altération, présentent un fauchage prononcé. Le coteau instable surmonte le bord gauche du grand glissement de la Cornallaz dont la dernière activité date de 1950. Au droit des tunnels, le plan de glissement de fond est à plus de 15 m sous la surface du vallon. Ainsi, le pied de la tranche de couches fauchées ne bute pas à sa base sur un terrain ferme, mais sur un terrain glissé et mou.

Cette molasse comprend deux systèmes principaux de diaclases, perpendiculaires l'un à l'autre et inclinés à 75°. Ce réseau de diaclases et l'altération en surface de la molasse, dont le fauchage constaté est une des conséquences, peuvent créer, lors de l'excavation, une grave menace d'éboulement.

3. Travaux

a) Zone morainique

Afin de préciser les caractéristiques géologiques de la moraine de la tête Est, en vue de la mise en soumission

des tunnels, le Maître de l'Ouvrage entreprit l'exécution d'une galerie de reconnaissance dans l'axe du tunnel amont (\varnothing excav. 2,80 m).

Les conditions très difficiles d'excavation rencontrées alors (nécessité d'un étayage absolument jointif, non seulement des piédroits, mais également du front d'attaque) incitèrent le Bureau de Construction des Autoroutes à faire exécuter un plot d'essai d'injections, à côté de la galerie de sondages. Après traitement, consistant en injections de gel de silicate puis de coulis de ciment, une galerie fut excavée à travers le plot d'essai ; elle permit de constater une sensible amélioration du terrain traité.

Sur la base de ces résultats, deux solutions « officielles » furent mises en soumission pour la traversée de la moraine, tout en laissant entière liberté aux entreprises de présenter d'autres variantes :

- a) excavation à l'aide d'un bouclier classique, permettant d'exécuter un étayage jointif du front d'attaque si nécessaire ;
- b) excavation, après traitement préalable par injection, sur la base des résultats obtenus aux essais.

Dans les deux cas, le revêtement primaire devait être constitué d'éléments préfabriqués mis en place au fur et à mesure de l'excavation.

La plupart des entreprises soumissionnaires présentèrent une ou plusieurs variantes pour l'excavation du tronçon en moraine.

Une des solutions, consistant à utiliser des lances métalliques poussées par des vérins hydrauliques et s'appuyant sur des cintres de support récupérables, paraissait présenter des avantages économiques qui, à l'époque, furent jugés intéressants par le Maître de l'Ouvrage ; l'exécution fut donc adjugée à l'entreprise qui avait proposé cette méthode.

Le mode d'exécution adopté fut le suivant :

- a) percement de deux galeries latérales de base, avec étayage lourd, puis bétonnage des piédroits et des semelles ;
- b) excavation de la calotte, avec bétonnage de l'anneau définitif, au fur et à mesure de l'avancement ;
- c) excavation du stross, y compris bétonnage du radier par étapes de 10 m.

L'excavation des galeries latérales fut réalisée sous la protection des lances métalliques décrites ci-dessus. Ces lances sont remplacées, au fur et à mesure de l'avancement, par des couchis métalliques, plaqués contre le terrain et soutenus par des cintres laissés dans l'œuvre ; les vides subsistant entre terrain et couchis sont remplis avec un coulis de chaux hydraulique.

Malgré toutes les précautions prises, des tassements sensibles furent enregistrés sous les voies de chemin de fer, déjà à ce stade des travaux, et nécessitèrent le ralentissement des trains.

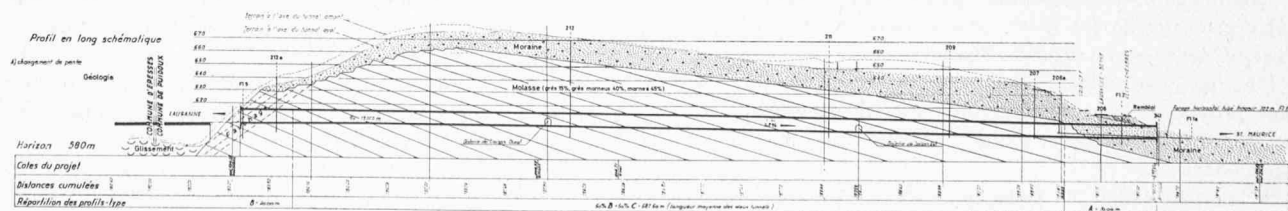


Fig. 2. — Profil en long des tunnels du Flonzaley.



Fig. 3. — Vue des entrées Est.
Tunnel amont : excavation de la calotte terminée.
Tunnel aval : exécution des galeries de base.

(Photo Germond)

FLONZALEY_GALERIE LATÉRALE EN MORAINES_ÉTAPE 1

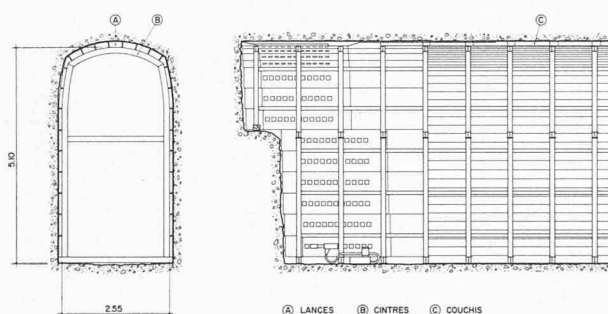


Fig. 4. — Méthode d'avancement des galeries latérales de base au moyen de lances métalliques posées sur cintres.

D'autre part, les difficultés rencontrées ne permirent pas de dépasser une vitesse moyenne d'avancement de 1 m/jour au lieu des 1,60 m prévus par le programme.

Dès que ces galeries de base eurent pénétré dans la molasse, il fut procédé au bétonnage des semelles et des piédroits, puis à l'excavation de la calotte, en utilisant le même procédé, avec lances et cintres provisoires de support. Le bétonnage de la voûte était réalisé au fur et à mesure de l'avancement, sous la protection des lances.

Là encore, les difficultés d'avancement furent telles que la vitesse moyenne d'excavation ne fut que de 0,65 m/jour. Les tassements des voies de chemin de fer dépassèrent largement les prévisions les plus pessimistes, puisque, en certains points, le tassement total cumulé fut de 40 cm.

Après avoir ouvert la calotte sur 44 m, l'hétérogénéité de la moraine devint de plus en plus importante, les zones de sable bouillant se firent plus nombreuses et plus grandes et il fut nécessaire de procéder à une première injection au-devant du front d'attaque, sur une profondeur de 8 m.

Malheureusement, après le passage de cette zone, un éboulement se produisit, en terrain bouillant, provoquant

un accident mortel, et créa, en calotte, une cheminée qui pouvait menacer les voies Lausanne-Berne encore proches. Cette cavité put être rapidement injectée et un traitement au gel de silicate de la calotte exécuté jusqu'au contact de la moraine avec la molasse.

En même temps, le Bureau des Autoroutes décidait l'injection systématique, avant le début de l'excavation, de toute la calotte du tunnel aval. L'excavation de la dernière tranche du tunnel amont, ainsi que de toute la calotte du tunnel aval, se déroula alors sans incident.

L'avancement moyen journalier atteignit 1,50 m et plus aucun tassement ne fut observé.

FLONZALEY_COUPE TYPE EN MORAINES

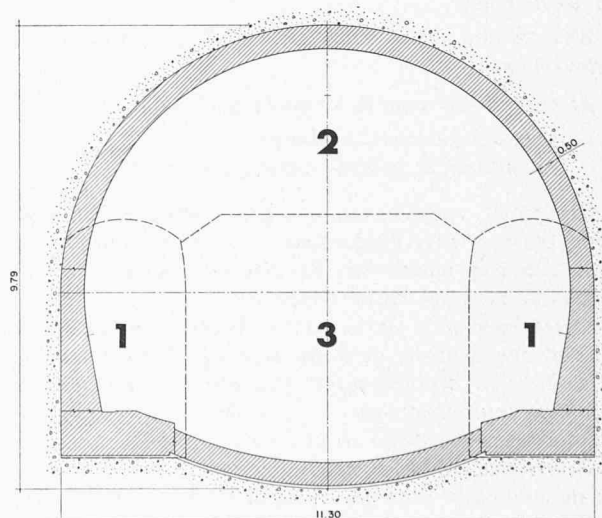


Fig. 5. — Coupe du profil en moraine.
1. Excavation des galeries de base, bétonnage des piédroits et de la semelle.
2. Excavation de la calotte et bétonnage du revêtement primaire.
3. Excavation du stross et bétonnage du radier.

FLONZALEY_TRONÇON EN MORAINES_ÉTAPE 2

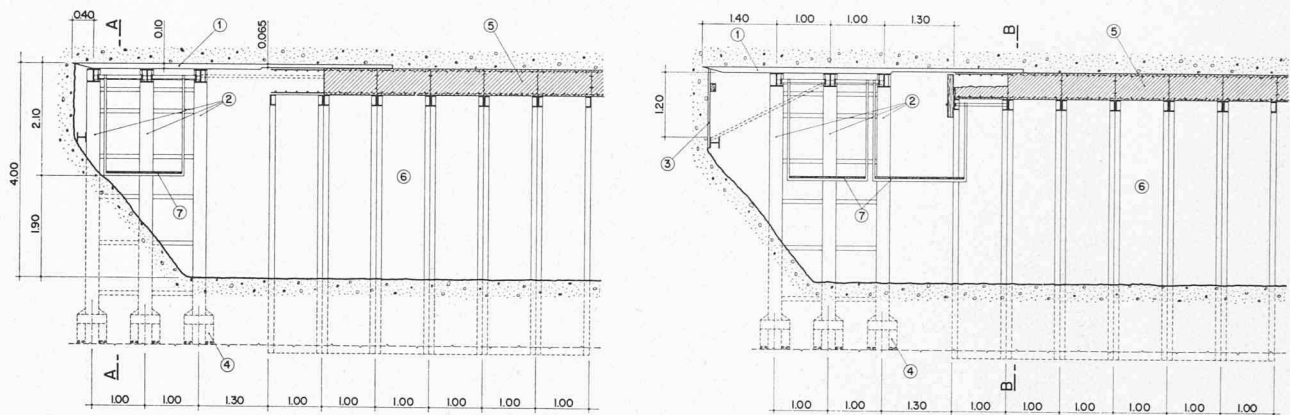
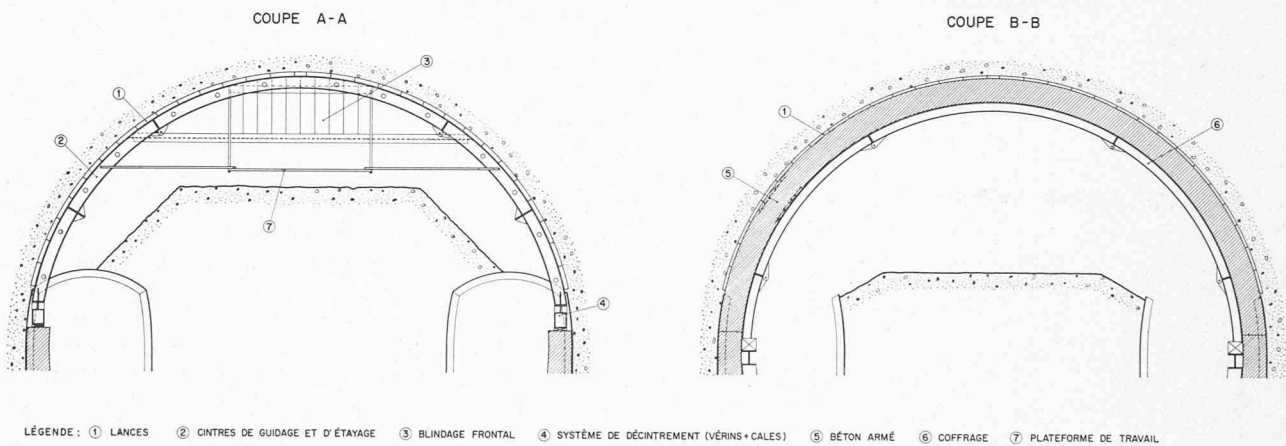


Fig. 6. — Méthode d'avancement de la calotte en moraine, au moyen de lances s'appuyant sur des cintres provisoires et bétonnage du revêtement primaire.



LÉGENDE : ① LANCES ② CINTRES DE GUIDAGE ET D'ÉTAYAGE ③ BLINDAGE FRONTAL ④ SYSTÈME DE DÉCINTREMENT (VÉRINS+CALES) ⑤ BÉTON ARMÉ ⑥ COFFRAGE ⑦ PLATEFORME DE TRAVAIL

Fig. 7. — Excavation de la calotte en moraine. Coupes A et B.

b) Sortie Ouest

L'excavation des tunnels en molasse fut exécutée en deux phases :

- a) calotte sur toute la longueur du tunnel ;
- b) stross et piédroits du tunnel en utilisant le système d'étagage Bernold.

Ce dernier, rappelons-le, consiste à bétonner le revêtement porteur, sitôt l'excavation réalisée, en utilisant des tôles spéciales tenant lieu de coffrage, portées par des cintres de montage récupérables.

Après excavation de la calotte, le stross est enlevé en laissant une épaisseur de piédroits suffisante pour soutenir le revêtement déjà en place. Les piédroits sont ensuite repris en sous-œuvre, par tranches de 5 m ; le bétonnage étant également exécuté en utilisant les tôles Bernold.

Ce système fut utilisé avec succès pour tout le tronçon en molasse, sauf pour les 25 derniers mètres de la sortie Ouest, pour lesquels l'excavation de la calotte dut se faire en deux phases successives :

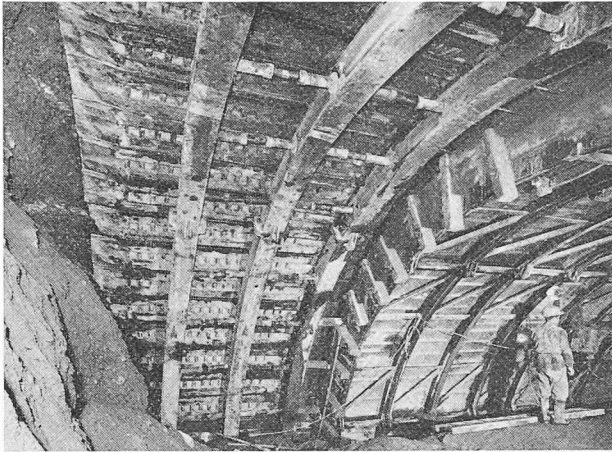
- 1) exécution d'une galerie d'avancement d'environ 22 m² de section, avec pose d'un étagage lourd au faite, supporté par des « bourriques » ;

- 2) abattage des deux flancs latéraux et bétonnage immédiat par étapes de 1,20 m derrière les tôles Bernold.

Lors de la reprise du stross, des piédroits et du radier de la tête Ouest du tunnel aval, une masse d'environ 300 m³, dont la base avait été partiellement affouillée, se mit en mouvement. Des fissures apparurent très rapidement dans le talus situé entre les tunnels. Tout l'ensemble était susceptible de glisser, en emportant les têtes de tunnels, peut-être même les culées des ponts de la Cornallaz sur lesquelles elles s'appuient, et coupant la piste de chantier située au-dessus.

Il fut alors décidé :

- en première étape, d'assurer rapidement la stabilité du talus en posant 50 ancrages de 140 tonnes, d'une longueur de 30 m chacun ;
- en deuxième étape, d'ancrer, à l'aide de neuf tirants de 60 tonnes chacun, la paroi subsistant entre les deux tunnels et d'exécuter une série de forages drainants perpendiculaires aux tunnels. Cette phase ne pouvait débuter qu'après le débitage du bloc qui avait glissé, tout en assurant la fissure par une série d'ancrages type Perfo, puis en construisant un mur de soutènement, ancré de la même façon.



(Photo Germond)

Fig. 8. — Avancement de la calotte en moraine. Bétonnage du revêtement primaire.

Ces travaux de consolidation et d'excavation des têtes Ouest des tunnels purent alors être exécutés et menés à chef sans autre incident.

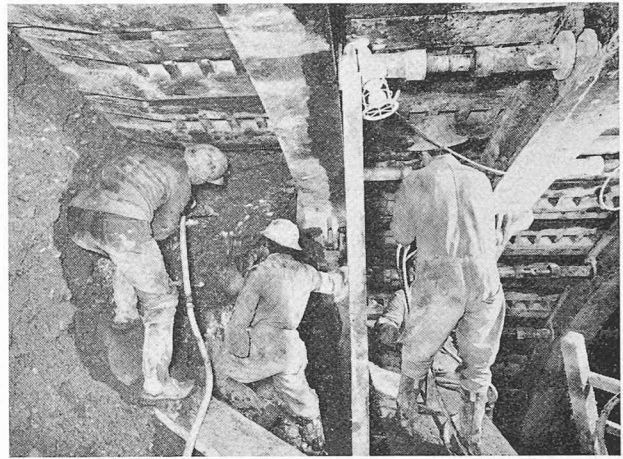
4. Equipement

Eclairage

Pour des questions esthétiques, les paralumes d'entrée ont été éliminés du projet. On leur a finalement préféré un éclairage d'entrée relativement important.

Les conditions locales et l'orientation des tunnels ont amené l'auteur du projet à prévoir le système d'éclairage suivant :

- Au régime maximum, le niveau d'éclairage passe de 700 lux à l'entrée à 50 lux à l'intérieur du tunnel pour la piste Valais-Lausanne ; l'éclairage d'entrée est porté à 1500 lux pour la piste Lausanne-Valais. Ces zones de



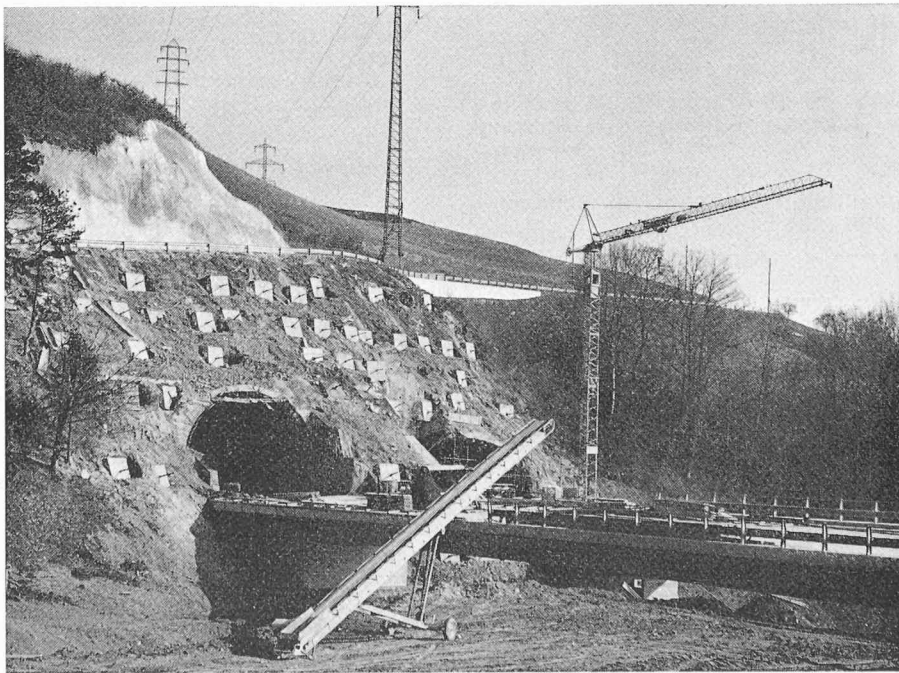
(Photo Germond)

Fig. 9. — Avancement des lances dans la moraine. En haut à droite : vérin.

transition à éclairage renforcé sont équipées de luminaires à répartition asymétrique dont la majeure partie du flux lumineux est dirigée en sens inverse au trafic, dans le but de créer un effet de contraste sur tout obstacle. Les luminaires de fabrication BAG, avec lampes au sodium 400 W ou 250 W haute pression (zones d'entrée) et 1 ou 2 × 55 W basse pression (en plein tunnel) totalisent une puissance de 94 kW.

Les circuits d'alimentation sont combinés de façon à déterminer quatre niveaux différents d'éclairage. Le choix du niveau est fonction de l'éclairage extérieur mesuré en permanence par un appareillage automatique qui enclenche et déclenche les circuits voulus.

Le système d'éclairage est complété par un balisage de secours au moyen de lampes encastrées tous les 40 à 50 m, d'une puissance de 20 W, placées 50 cm au-dessus du trottoir et alimentées par le réseau secouru ou par un bloc à accumulateur autonome.



(Photo Germond)

Fig. 10. — Consolidation du talus de la tête Ouest par tirants précontraints.

Ventilation

Par leurs conditions de longueur et de pente, les tunnels du Flonzaley se trouvent aux limites des possibilités de ventilation naturelle. Compte tenu d'un certain nombre de cas de charge non permanents, mais susceptibles de se produire fréquemment, il a été décidé d'installer une ventilation artificielle longitudinale.

Cette ventilation sera assurée par neuf groupes de deux ventilateurs pour la chaussée en rampe, et trois groupes de deux ventilateurs pour la chaussée descendante. Ces ventilateurs, suspendus à la voûte, sont entraînés par un moteur de 11 kW et pulsent l'air à 35 m/s à leur sortie.

Alimentation en énergie

Cette alimentation est assurée par une sous-station transformatrice à chaque extrémité des tunnels. La sous-station principale, équipée d'un transfo de 400 kVA, est raccordée au réseau CVE 17 kV par deux lignes indépendantes, avec commutation automatique lorsque l'une d'elles tombe en panne. La sous-station secondaire, équipée d'un transfo de 300 kVA, est alimentée en 17 kV par la première. Une partie des circuits d'éclairage, l'alimentation des signalisations et appareillages de sécurité, ainsi que les circuits de commande, sont alimentés par un réseau séparé et permanent.

Organes de mesure, de sécurité et télétransmission

A ce titre, une série de fonctions doivent être assurées :

- la signalisation routière proprement dite, par signaux télécommandés du centre de surveillance de la Blécherette, ou par les systèmes d'alarme, ou éventuellement localement ;
- le système d'alarme incendie à l'intérieur des tunnels, comportant des détecteurs du type thermovélocimétrique. Chaque détecteur surveille un tronçon de 25 m environ. Le fonctionnement d'un détecteur provoque le blocage du trafic, l'arrêt de la ventilation et l'alarme au poste de la Blécherette ;

- l'équipement des niches de sécurité : poste d'appel téléphonique, extincteurs, boutons d'alarme (accident, incendie, panne) ;
- les appareils de mesure d'opacité de l'air et les appareils de mesure de la teneur en monoxyde de carbone ; ces appareils commandent la ventilation en plusieurs échelons, puis l'alarme et en dernier ressort, l'arrêt du trafic, tout en appelant l'intervention du poste de surveillance central de la Blécherette.

On peut encore ajouter les dispositifs de télétransmission et de télécontrôle des sous-stations propres aux tunnels du Flonzaley, ainsi que le transit des informations venant d'autres tronçons de la route. Au Flonzaley même, les transmissions nécessaires — plus de 100 informations — entre les deux cabines, sont assurées par un système Carryplex à câble coaxial à multifréquence.

Alimentation en eau

L'alimentation en eau est prête, à tout instant, à l'intervention de la défense-incendie ; on a imposé un débit de 20 l/s sous 8 kg/cm², avec réserve de 250 m³. L'insuffisance des installations communales existantes (réservoir trop éloigné, raccordement à celui-ci par un réseau en général trop faible) a donc nécessité la construction d'un nouveau réservoir pour la commune de Puidoux, de 2000 m³, relié directement aux installations des tunnels. Une pompe de circulation assure un mouvement d'eau en circuit fermé dans la conduite maîtresse le long des tunnels afin d'éviter tout phénomène de gel, les embranchements morts étant protégés du gel par un petit corps de chauffe électrique. Ce dispositif aboutit à un hydrant à deux bouches tous les 150 mètres, aux emplacements des niches de sécurité.

Adresse de l'auteur :
I. Pfister, CETP
7, rue Saint-Martin
1003 Lausanne

Bibliographie

Ingenieur-Mathematik, par *Detlef Laugwitz*, B. I. Hochschultaschenbücher, Band 59, 60, 61 et 62, Mannheim 1964/67. — 4 vol. 12,5×19, 156 + 151 + 138 + 196 pages, rel. toile souple. DM 5,90 + 5,90 + 6,90 + 8,90.

Cours méthodique et clair à l'usage des ingénieurs, physiciens et spécialistes en sciences naturelles.

Tome 1 : Nombres entiers, nombres réels, géométrie analytique, calcul vectoriel, polynômes, nombres complexes, fonctions rationnelles, séries.

Tome 2 : Calcul intégral et différentiel.

Tome 3 : Equations différentielles.

Tome 4 : Séries de Fourier, distributions, séparation des variables, intégrales multiples, intégrales linéaires, analyse vectorielle, géométrie différentielle, matrices, espaces linéaires.

Lineare Algebra, par *K. P. Grotmeyer*. B. I. Hochschultaschenbücher, Band 732, Mannheim 1970. Bases, structures, groupes, modules, espaces vectoriels. — Un volume 12,5×19, 237 pages, rel. toile souple, 7,90 DM.

Einführung in die Mathematik für Naturwissenschaftler, par *G. Kastner*, B. I. Hochschultaschenbücher, Band 752, Mannheim 1971. — Un volume 12,5×19, 210 pages, rel. toile souple, 8,90 DM.

Introduction à l'usage des chimistes, biologistes et minéralogistes.

Mengenlehre, par *J. Schmidt*, B. I. Hochschultaschenbücher, Band 56, Mannheim 1966. — Un volume 12,5×19, 241 pages, rel. toile souple, 8,90 DM.

Cette théorie des ensembles se veut d'être non pas une nouvelle théorie, mais bien un guide pratique pour l'usage quotidien des mathématiques dans leur forme moderne.

Divers

La Documentation suisse du bâtiment organise une banque de données pour l'industrie du bâtiment

La Documentation suisse du bâtiment, centre d'information de la construction le plus important de Suisse, a décidé de constituer une banque de données pour l'ensemble de l'industrie suisse du bâtiment. Du point de vue quantitatif, et non qualitatif, il existe actuellement dans le secteur de l'information de la construction une profusion d'informations ; cette situation fait que les marques, les produits et les caractéristiques des produits ne sont pas saisissables immédiatement pour les intéressés de la manière dont ils le voudraient.

En ayant recours au traitement électronique de l'information, la Documentation suisse du bâtiment commence