

Le pont-rail couvert du Rorbach (Saint-Gothard)

Autor(en): **Weibel, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **110 (1984)**

Heft 4

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75272>

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.

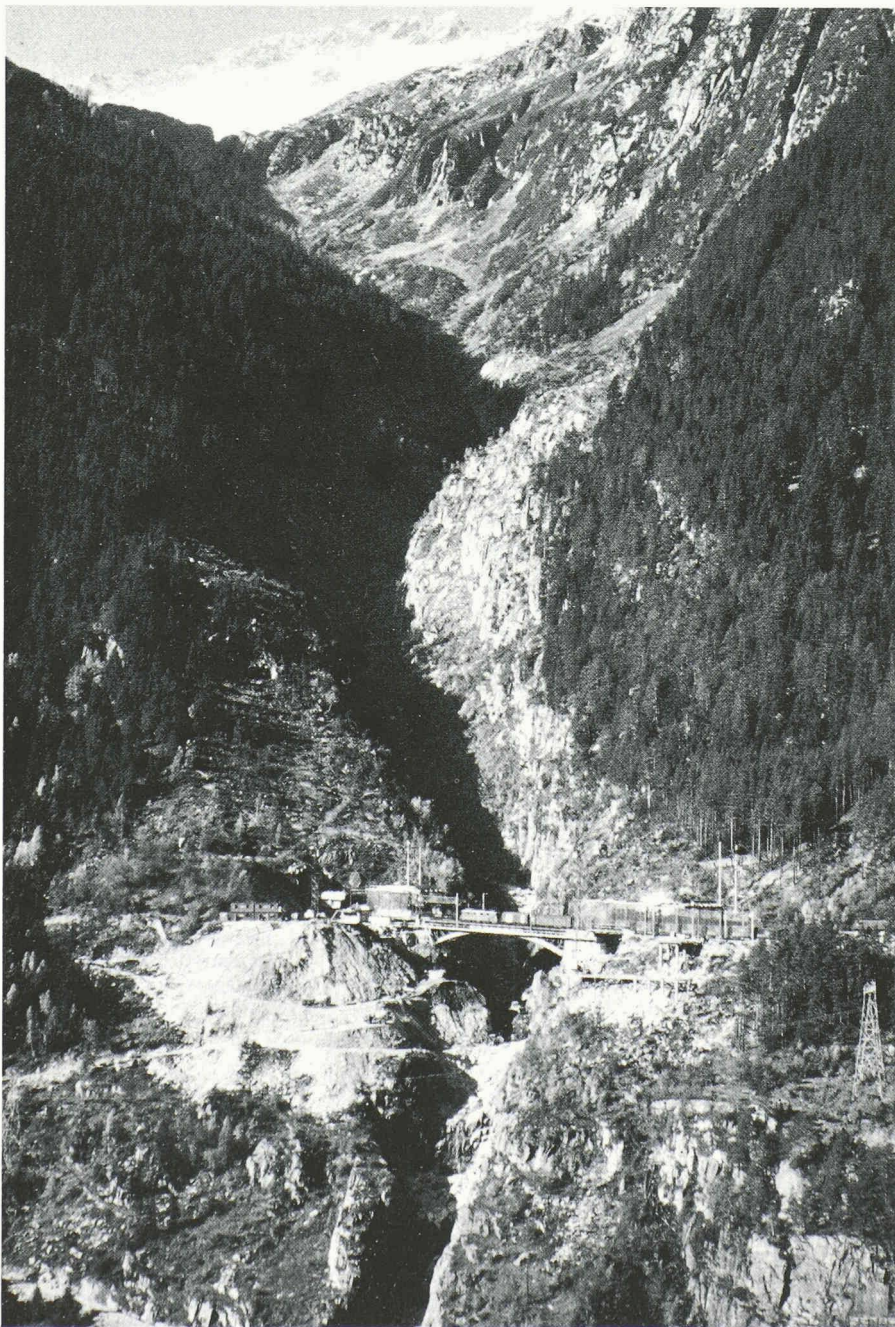
Le pont-rail couvert du Rorbach (Saint-Gothard)

Axe privilégié des échanges européens, le Saint-Gothard a toujours fait l'objet d'une attention particulière de ceux qui le contrôlent. Aux origines de la Confédération déjà, ce passage a connu d'incessantes améliorations dans le but d'en rendre l'utilisation plus sûre et plus confortable. Une fréquentation plus élevée amenait en effet des ressources accrues aux riverains.

Il n'en a pas été autrement depuis l'avènement du chemin de fer. Si la Suisse a recouru à l'aide étrangère pour financer la construction de cette ligne hardie, elle en a jalousement conservé le contrôle, donc le droit de percevoir des redevances bienvenues sur le trafic acheminé par le Saint-Gothard (ce n'est qu'à l'ère des autoroutes qu'on s'est avisé d'offrir au transit une voie royale gratuite...).

La régularité du trafic ferroviaire se heurte aux aléas du climat et de la météorologie. Les avalanches constituent un risque majeur, dont l'élimination demande des moyens importants. L'ouvrage décrit ci-après est un exemple de l'ingéniosité exigée tant dans la conception que pour la réalisation de telles mesures de protection.

Jean-Pierre Weibel



Vue prise en cours de travaux. On distingue l'ancien pont métallique amont, l'emplacement de préfabrification (à gauche) et les champs de neige alimentant les avalanches du Rorbach (en haut).

1. L'assainissement de la ligne du Saint-Gothard

Ces trente dernières années, la plupart des ponts métalliques soudés de la ligne ferrée du Saint-Gothard ont été remplacés par des ouvrages en béton, dans le cadre d'un programme de renouvellement décidé en 1951. Entre Erstfeld et Biasca ne subsistaient jusqu'à l'an dernier plus que les deux ponts à parallèles à simple voie du Rorbach, mis en service en 1882 et en 1893. Ces anciens ponts ne satisfaisaient plus aux exigences actuelles quant à la sécurité statique, et aux coûts d'entretien ; ils présentaient surtout un risque important en cas d'avalanches, les appuis des arcs du côté de Göschenen étant particulièrement exposés. En outre, la géométrie défectueuse des voies entraînait d'importants frais d'entretien ; une correction n'était possible qu'à l'occasion d'une reconstruction des ponts.

2. Avalanches : risques et mesures de protection

La région du Rorbach est l'une des plus menacées par les avalanches sur toute la ligne du Saint-Gothard, car elle est surplombée par l'une des zones où les descentes en sont parmi les plus nombreuses dans toute la vallée de la Reuss. Les petites avalanches sont fréquentes et il s'en produit de plus importantes de façon irrégulière, lors de conditions météorologiques extrêmes, comme par exemple en 1882 (l'année de mise en service de la ligne), 1917, 1975 et 1978.

Les dégâts les plus importants sont intervenus le 6 janvier 1981 ; ce jour-là, l'avalanche du Rorbach s'est déclenchée vers 15 heures, recouvrant les deux voies, arrachant les caténaires et la ligne à haute tension et endommageant considérablement le pont amont. Ce n'est que de justesse que deux trains ont échappé à la catastrophe. La ligne a été coupée entre Wassen et Göschenen du 6 au 8 janvier. L'ampleur des réparations a été telle que le trafic n'a pu reprendre que sur une voie, entre les bretelles d'Eggwald et de Göschenen, la double voie n'étant rétablie que le 10 avril suivant.

Les avalanches de 1978 et 1981 avaient partiellement détruit la forêt protectrice, de sorte qu'il fallait compter avec une menace hivernale accrue sur les ponts et le trafic ferroviaire.

Il est possible de se prémunir contre un tel danger par trois sortes de mesures :

- les ouvrages pare-avalanches permettent d'éliminer le phénomène à la source. La zone où naît l'avalanche du Rorbach se trouve en partie sur des glaciers, de sorte qu'une protection complète n'est techniquement pas réalisable ; de tels travaux seraient très onéreux et liés à d'importants délais ;

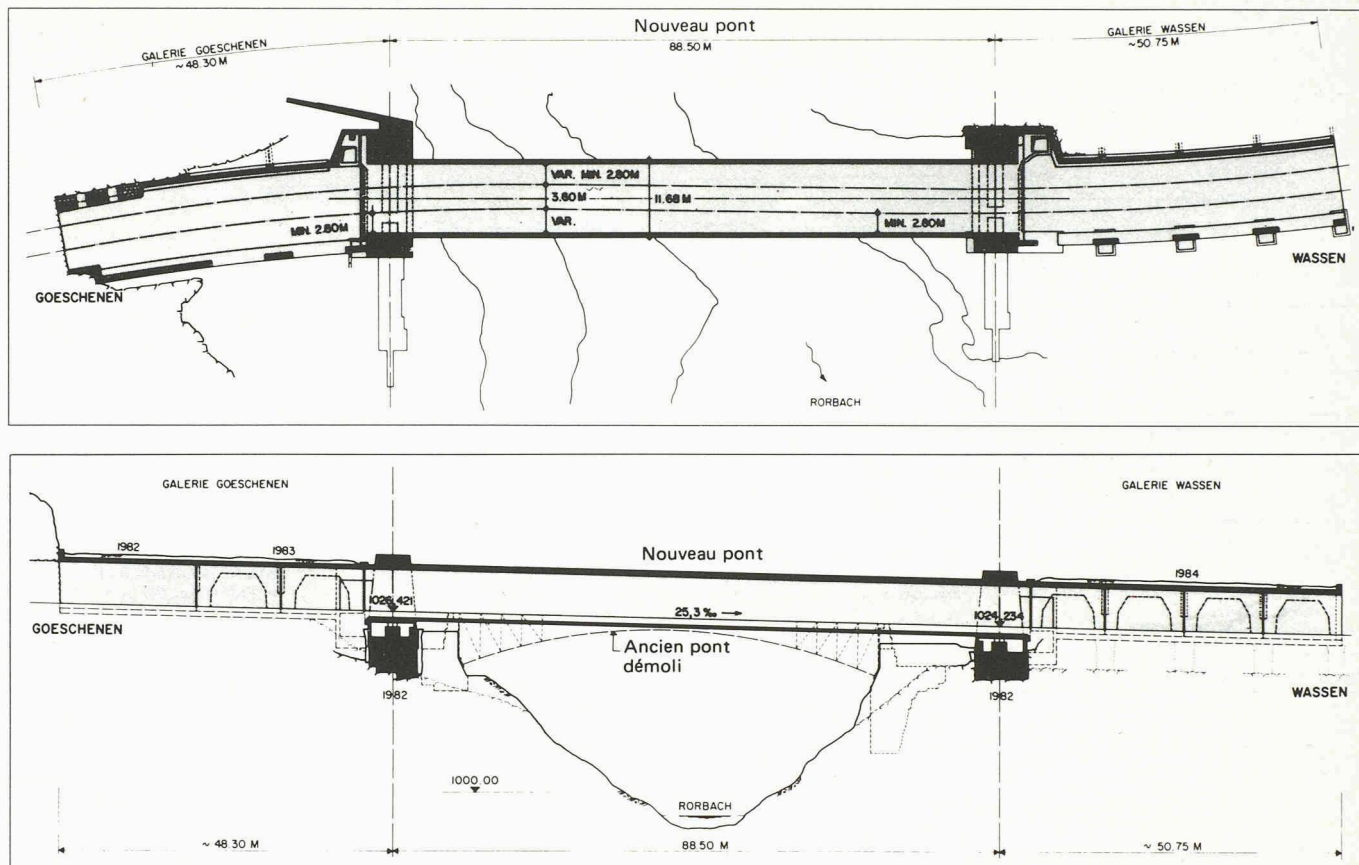


Fig. 1. — Etat final, vue en plan (en haut) et coupe en long.

- une autre possibilité consisterait à éviter la zone critique en faisant passer la ligne sous le Rorbach par un tunnel. Il serait toutefois nécessaire de déplacer le tracé de quelque 150 mètres vers l'amont; il en résulterait un tunnel de 1 à 1,2 kilomètre, dont le coût, estimé à 20-30 millions de francs, serait prohibitif;
- une troisième variante prévoyait la construction d'un ouvrage d'art capable tant de résister à l'avalanche que de protéger efficacement le trafic ferroviaire. La solution proposée consistait en un pont en caisson fermé, à l'intérieur duquel les trains puissent circuler.

Cette dernière solution ayant été adoptée, une étude comparative a conduit au choix d'un pont en béton préfabriqué sur place, franchissant la vallée d'une seule portée, résistant aux avalanches poudreuses. Il fallait en outre pouvoir réaliser cet ouvrage en cinq mois, sans perturbation du trafic ferroviaire. Le projet a pu être soumis en 1981 au conseil d'administration des CFF, qui a accordé le crédit de construction, devisé à 11 millions de francs.

3. Le projet: grandes lignes

Le projet prévoit une galerie de protection liée au tablier du pont pour former un caisson abritant la double voie, d'une section intérieure de 11,7 m de large sur 8,7 m de haut (fig. 1), franchissant la vallée du Rorbach d'une seule portée de 88,5 m (fig. 2).

La protection des accès contre les effets d'avalanches poudreuses est assurée par deux galeries de 45 m chacune. Cette longueur a été choisie en fonction des dégâts survenus jusqu'ici.

Pour permettre le déroulement des travaux dans la période séparant deux hivers, une réalisation par étape a été prévue.

4. Charges dues aux avalanches

Aux charges usuelles pour un pont-rail à double voie, il a fallu ajouter pour le dimensionnement celles résultant de l'impact des avalanches sur le pont.

Selon le bulletin des avalanches de l'Institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches, au Weissfluhjoch-sur-Davos (SLF), deux types d'avalanches entrent en compte pour le Rorbach:

- les avalanches de fond lourdes, s'écoulant dans la vallée avec une vitesse au droit du pont de 100 km/h; il s'y mêle des arbres et des rochers et sa hauteur sous le pont atteint 8 à 20 m au-dessus du fond de la vallée. Les charges horizontales en résultant ont été chiffrées à 15 t/m² environ;
- les avalanches poudreuses, qui atteignent quelque 200 km/h au droit du pont et dont la hauteur maximale est indéterminée. Ces avalanches aussi charrient des arbres et des rochers. Leur pression dynamique, mesurée par le SLF, varie de 0,73 à 1,0 t/m², valeurs confirmées par l'analyse de dommages survenus dans le passé.

La somme des charges d'avalanche agissant horizontalement sur l'ouvrage atteint environ 2000 t (fig. 3). Il a en outre été tenu compte d'une charge concentrée

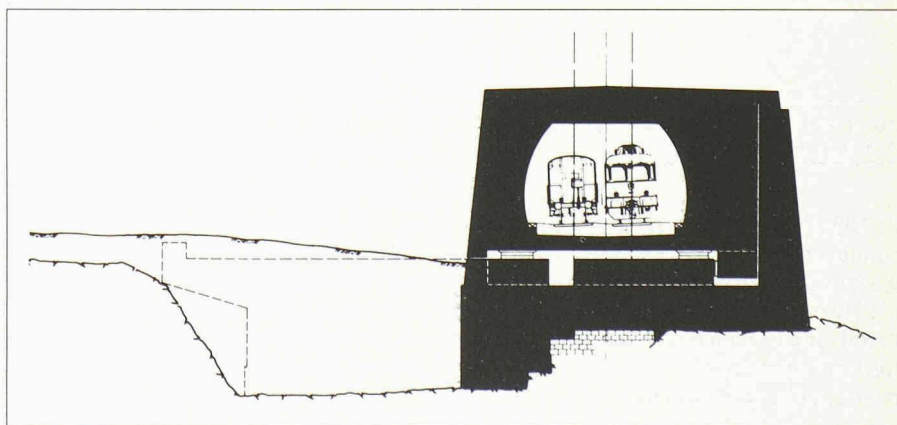


Fig. 2. — Etat final, coupe en travers sur l'appui côté Göschenen.

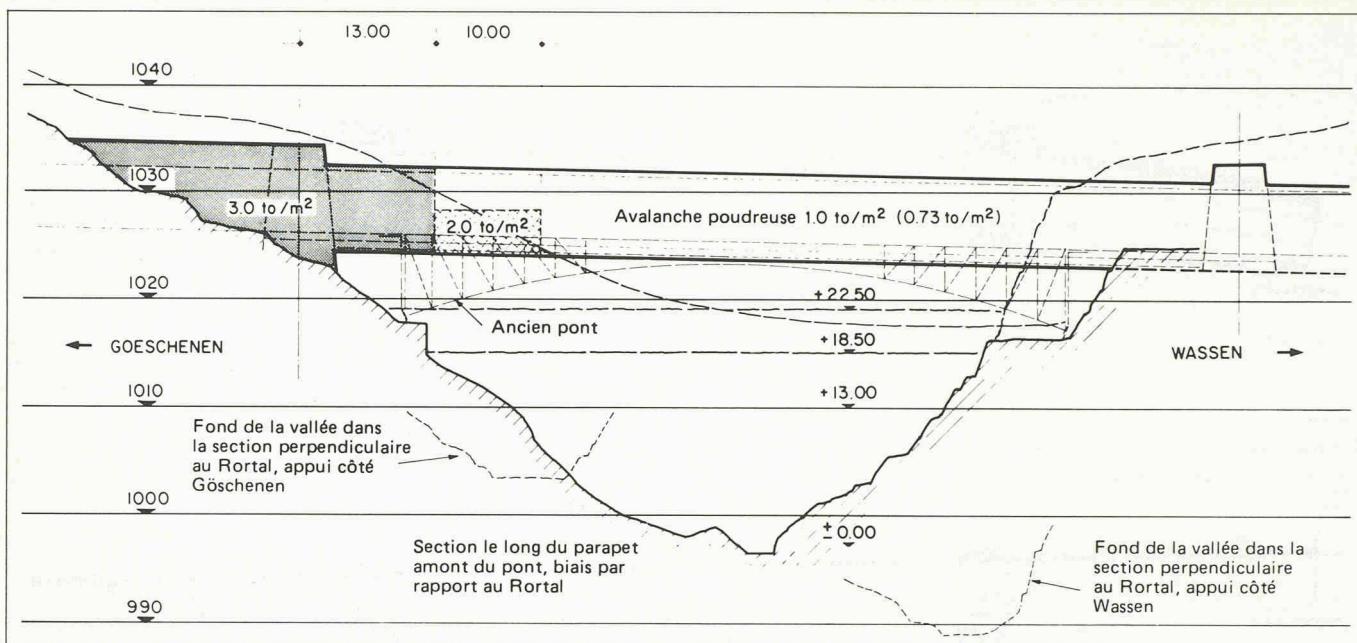


Fig. 3. — Charges d'avalanche; pression dynamique: coupe en long.

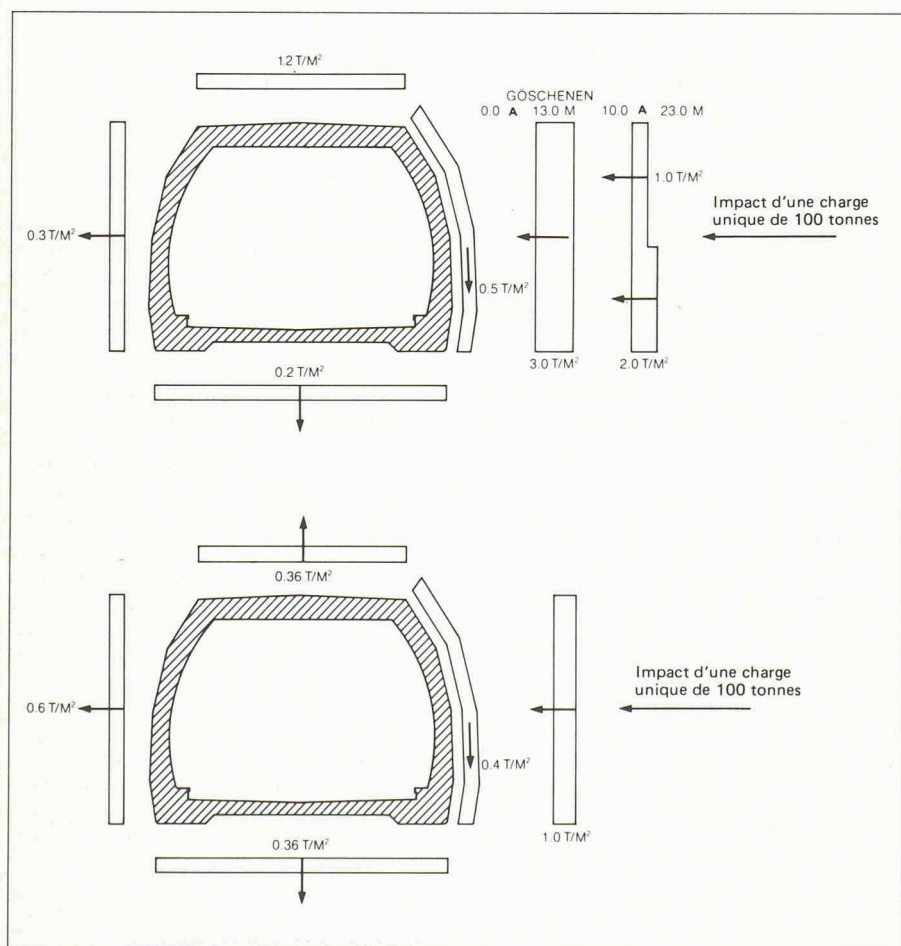


Fig. 4. — Charges d'avalanche; pression dynamique, coupes en travers. a) Appui côté Göschenen. b) Reste du pont.

de 100 t, pouvant agir en un point quelconque, représentant l'impact d'un tronç d'arbre ou le déraillement d'un train. Il n'a été nécessaire de considérer en outre l'effet des avalanches poudreuses sous forme d'une charge répartie de 3 t/m² que pour l'appui côté Göschenen (fig. 4).

L'ouvrage est entièrement hors de la zone touchée par les avalanches de fond.

5. Fondations et appuis

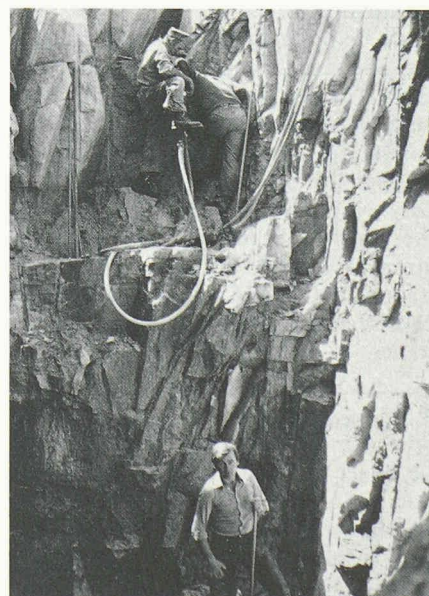
Les fondations ont été réalisées dans des fouilles en caisson, derrière les appuis des ponts existants et encore en service, sur du gneiss. Sur les deux rives, les fondations sont ancrées latéralement, chacune par 6 tirants permanents de 120 t environ. La poussée des arcs existants a été

reprise pour l'appui côté Göschenen par des étaçons de béton, les charges verticales par 4 appuis mobiles dimensionnés à 3400 t. Les réactions perpendiculaires à l'axe du pont sont transmises par des appuis horizontaux entre la culée et le prolongement vers le bas du cadre d'extrémité du pont. De même, des appuis horizontaux spéciaux ont été aménagés sur la culée côté Wassen pour les charges horizontales de freinage ainsi que celles dues aux avalanches.

En outre, la paroi sous la voie de ripage et la culée côté Wassen est consolidée par 11 tirants d'ancrage permanents, complétés par des tirants adhérents.

6. Superstructure, galeries pare-avalanches

Le nouveau pont a été lancé par étapes en aval des anciens (fig. 5 à 7). Après applica-



Travaux de fondation pour l'appui côté Wassen.

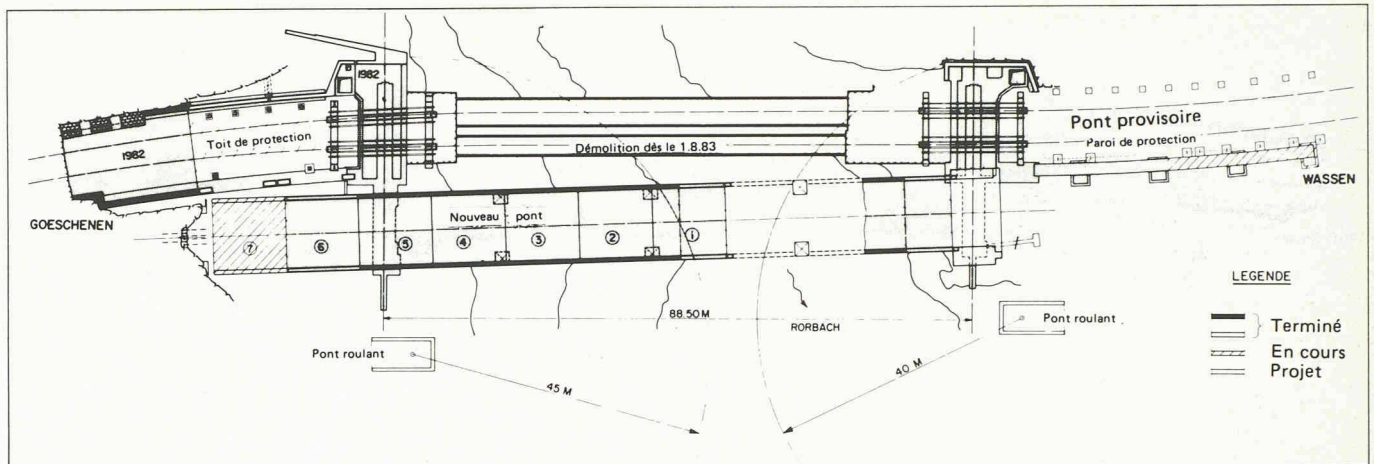


Fig. 5. — Phases du lancement: vue en plan.

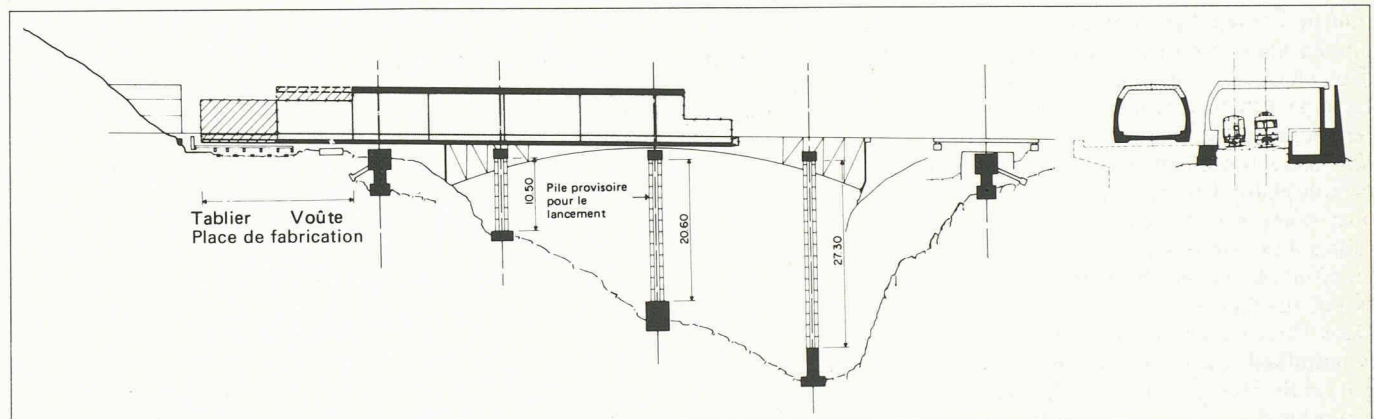


Fig. 6. — Lancement en cours: coupes longitudinale et transversale.

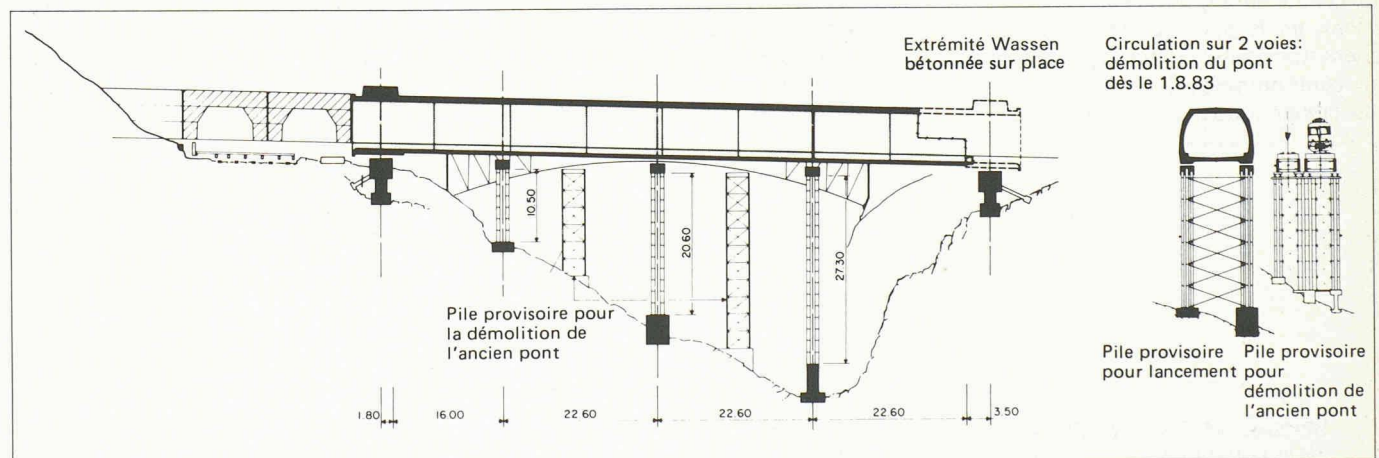
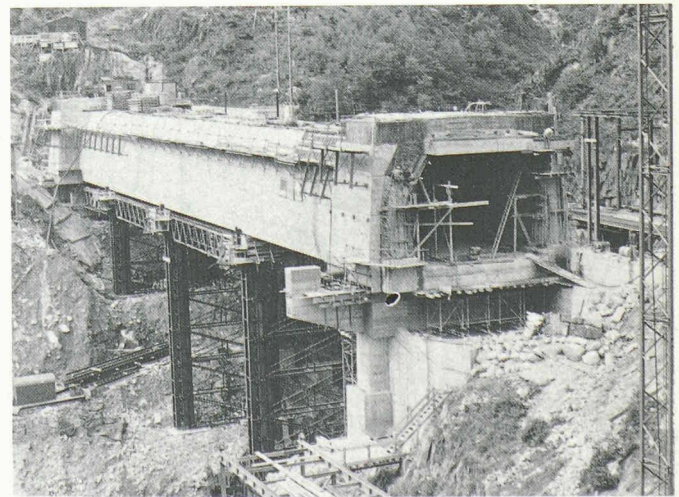
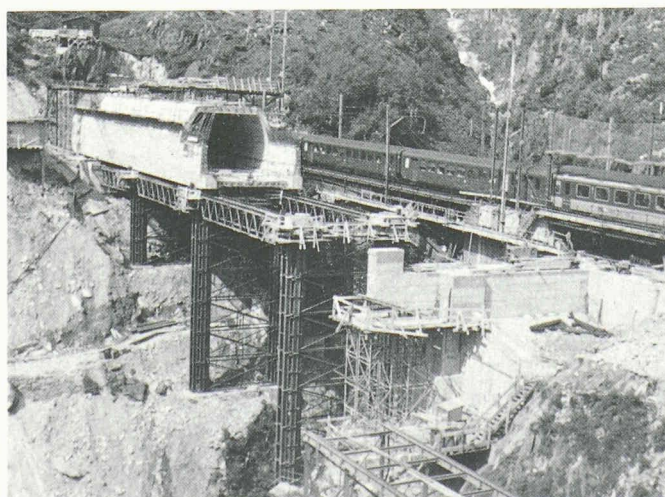


Fig. 7. — Lancement, phase finale: coupes longitudinale et transversale.



Deux étapes du lancement: le 21 juin 1983 (à gauche) et le 8 septembre 1983 (à droite) avec l'extrémité bétonnée sur place.

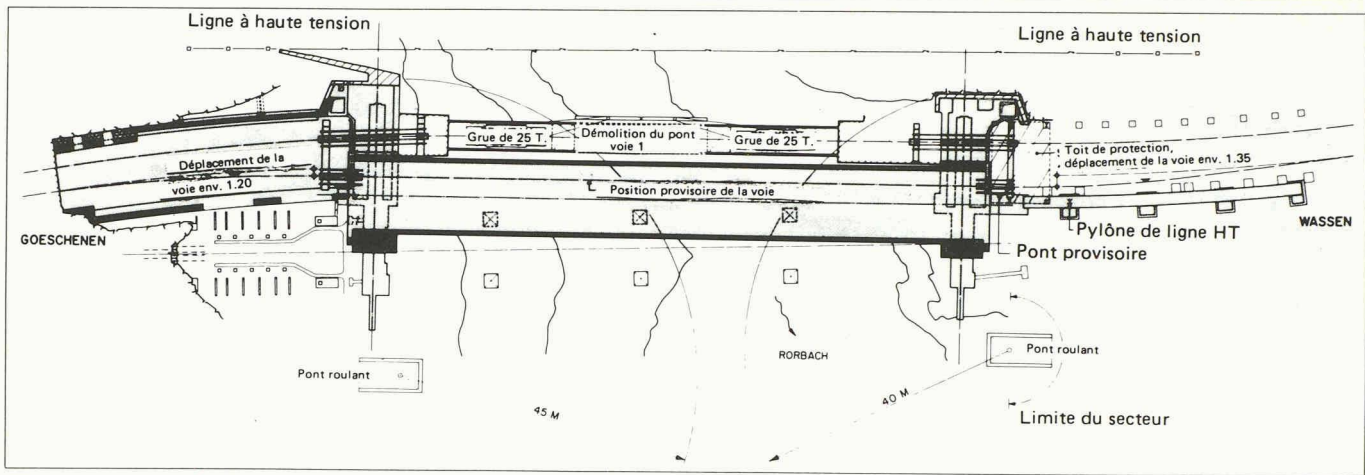


Fig. 8. — Première phase du ripage, vue en plan. La circulation s'effectue par le nouveau pont, sur la voie dans son emplacement provisoire.

tion de la pleine précontrainte, il a été mis en place par ripage et rotation, en deux phases de 12 m chacune (fig. 8 et 9). La superstructure présente une section fermée, avec le tablier formant le fond et une dalle travaillant à la compression comme plafond, le tout constituant sur le plan statique une poutre simple. Deux cadres d'extrémité servent à transmettre les efforts tranchants horizontaux et verticaux aux culées.

Dans l'état de service, la précontrainte longitudinale est assurée par 46 câbles de 430 t et 10 câbles de 220 t (fig. 10). La dalle comprimée est en outre équipée de câbles de précontrainte couvrant les états de charge intervenant en cours de lancement, où le pont devient momentanément une poutre continue partiellement précontrainte (fig. 6). Alors que les câbles du tablier subsistent à l'état de service,

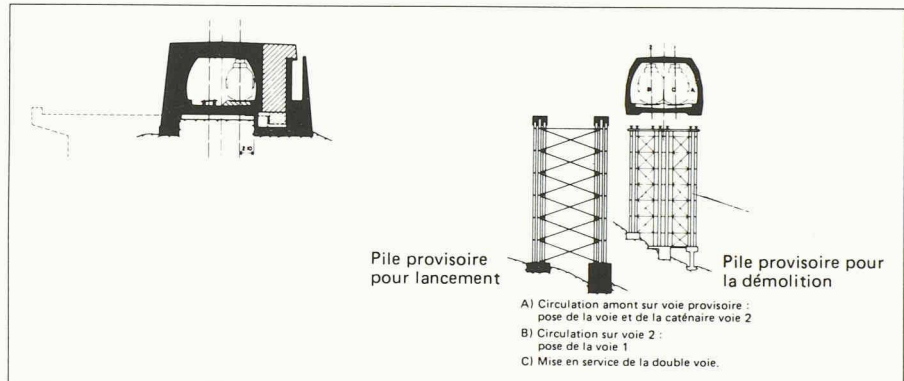


Fig. 9. — Première phase du ripage, coupes en travers : sur l'appui côté Göschenen (à gauche) et dans la portée (à droite).

ceux du plafond ont été sectionnés en milieu de portée après application de la pleine précontrainte du tablier.

La paroi amont du caisson comprend une surépaisseur de 10 cm, destinée à servir

de protection susceptible d'être utilisée par les avalanches.

Une isolation supérieure est prévue, à ancrer dans la couche extérieure du plafond.

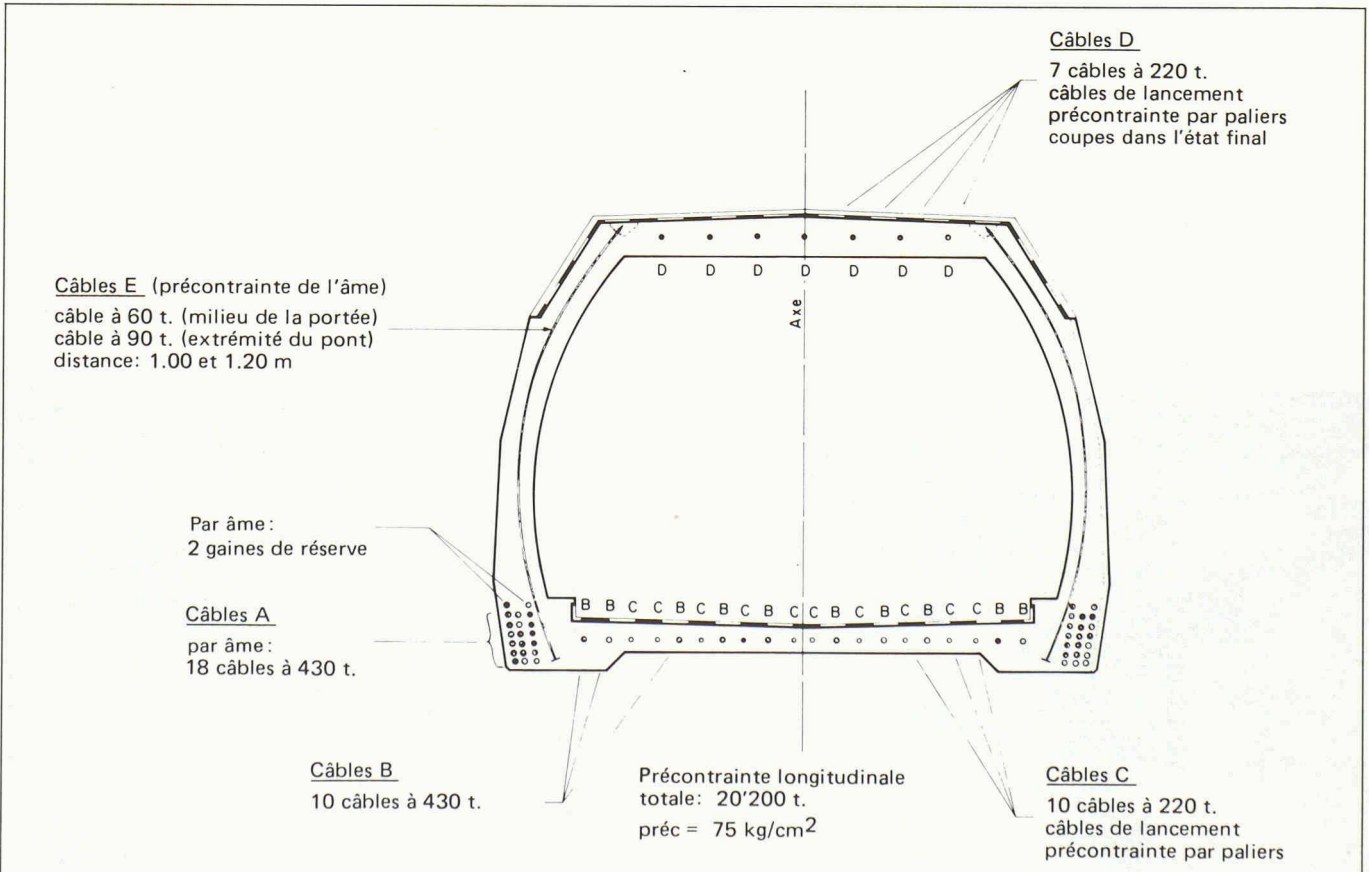


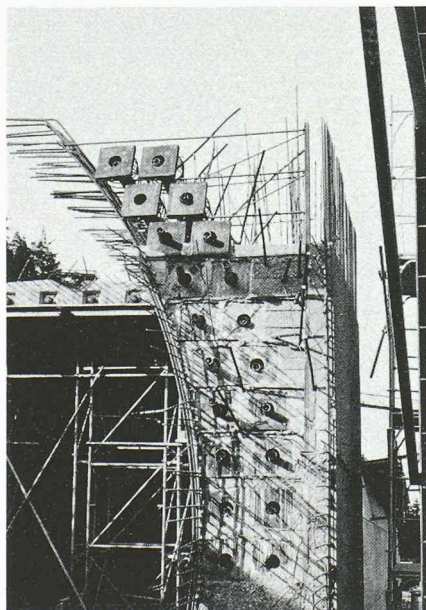
Fig. 10. — Précontrainte : disposition des câbles dans le milieu du pont.

Le lancement s'est effectué par étapes de 11 m environ, sur trois piles provisoires en acier (fig. 7), séparées par des portées allant de 16 à 22,6 m.

Les parois des galeries qui prolongent le pont présentent sur leur paroi aval la même forme polygonale que ce dernier (fig. 11). Sur l'amont, elles comportent des parois verticales raidies par des nervures servant en outre à l'ancrage dans le rocher par des tirants. Pour éviter des échafaudages pour le coffrage au-dessus des voies, on a recours à des poutres en T inversé précontraintes, servant de coffrage sur lesquels sera coulée la dalle supérieure.

7. Déroulement des travaux

La réalisation du pont et des galeries s'étend sur trois ans; en raison du danger hivernal d'avalanches, les travaux ne sont possibles que durant la période allant de la fin avril à fin octobre. Ce n'est qu'en dehors des zones menacées qu'il est possible de travailler en outre en mars et en avril, en novembre si les conditions sont favorables; il faut toutefois se passer de grues et de parois de protection pour les voies.



Disposition des câbles de précontrainte sur l'un des cadres d'extrémité.

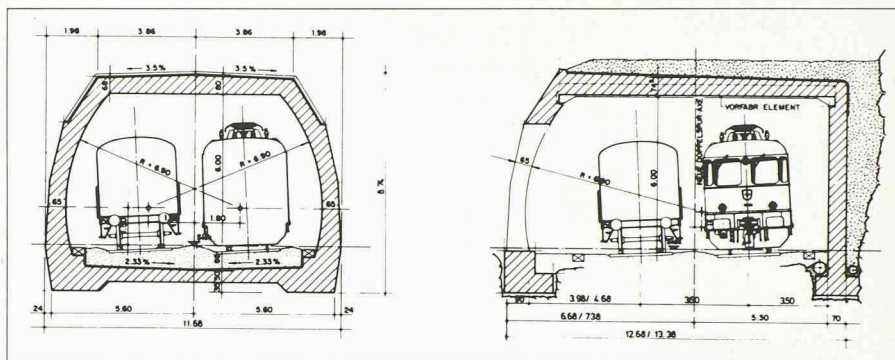
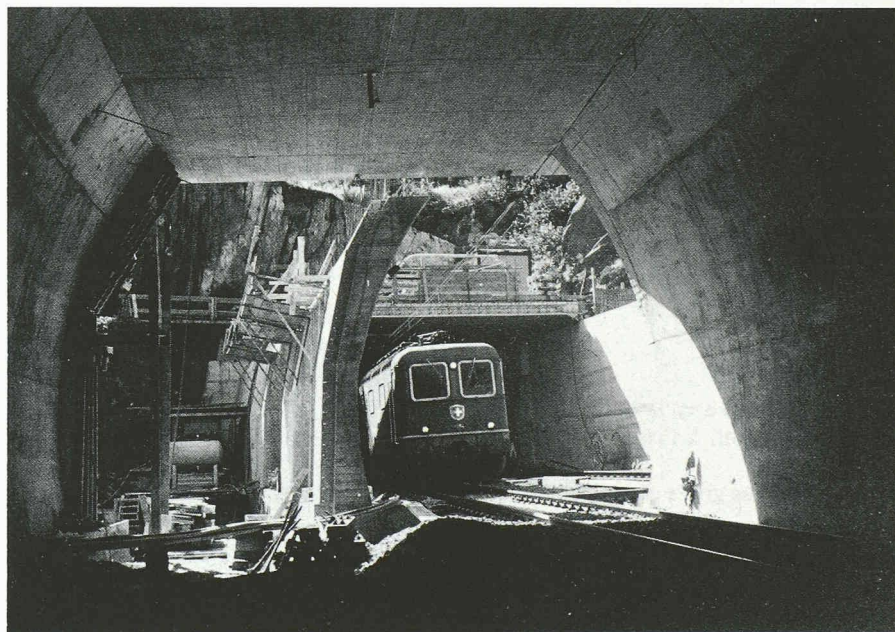


Fig. 11. — Etat final, coupes en travers : section type du pont (à gauche) et de la galerie (à droite).



Mise en service après le premier ripage. Cette photographie correspond à l'état montré par la fig. 8.

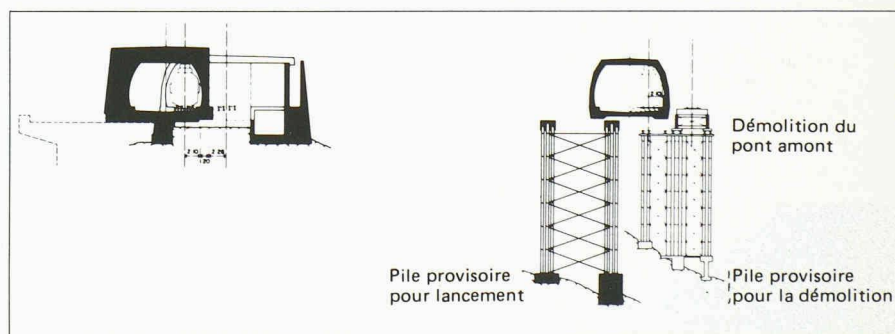


Fig. 12. — Mise en service après le second ripage, coupes en travers : sur l'appui côté Göschenen (à gauche) et dans la portée (à droite).

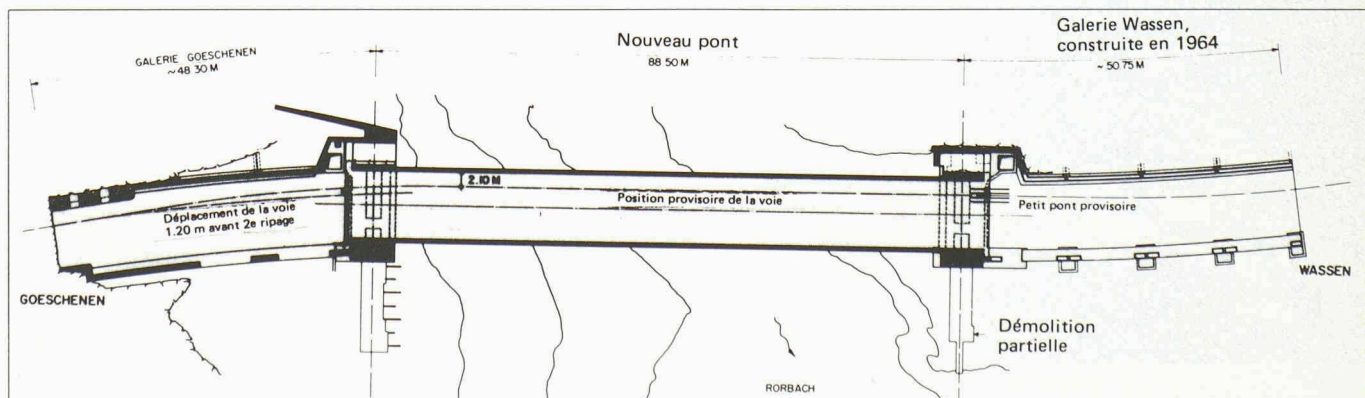


Fig. 13. — Mise en service après le second ripage : vue en plan.

A ces restrictions imposées par le climat s'ajoutent les contraintes de l'exploitation ferroviaire, qui exigent le maintien quasi permanent de la circulation des trains à la vitesse de 80 km/h. Ce sont ces facteurs qui ont dicté le déroulement des travaux.

7.1 1^{re} année: 1982

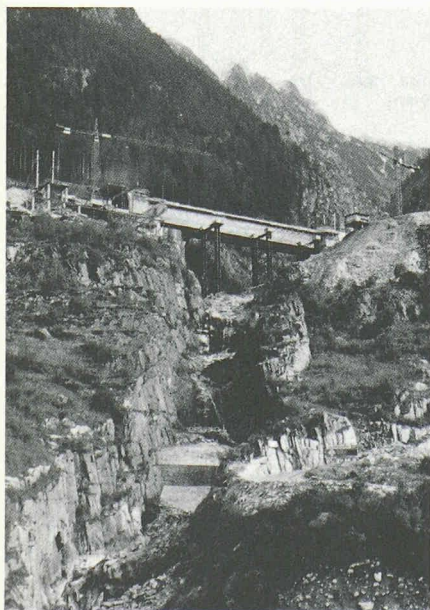
Cette année a été consacrée aux installations du chantier, y compris un tunnel protégeant les voies. Les travaux de construction proprement dits ont comporté les étapes suivantes:

- construction des nouvelles culées sous les ponts provisoires, permettant la circulation à 80 km/h, et des appuis latéraux sur les deux rives;
- fouilles et bétonnage de l'emplacement de préfabrication du pont;
- fondations des piles provisoires pour le lancement du nouveau pont ainsi que pour la démolition des anciens;
- première étape de la galerie de protection côté Göschenen, soit fondations, parois et plafond sur 20 m environ.

7.2 2^e année: 1983

C'est l'année qui a vu la mise en service du nouveau pont, à l'issue des travaux suivants:

- montage des grues et des gabarits de protection;
- aménagement de l'emplacement de préfabrication, côté Göschenen;
- montage des piles provisoires métalliques pour les travaux de lancement et de démolition;
- fabrication et lancement par étapes du nouveau pont, en aval des voies;
- ripage du nouveau pont en deux étapes, après démolition successive des anciens ponts métalliques, avec deux mises en place provisoires des voies.



Le nouveau pont en place. Les anciens ponts métalliques sont déjà démontés, seules subsistent les piles utilisées pour le lancement.

Maître de l'ouvrage: II^e arrondissement des CFF.

Surveillance des travaux: Section construction de ponts du II^e arrondissement des CFF, Lucerne.

Projet: Bureau d'ingénieurs E. Stucki & H. Hofacker, Zurich.

Surveillance locale des travaux: Section construction de ponts du II^e arrondissement des CFF, Lucerne.

Implantation du réseau principal et surveillance des anciens ponts: A. Hodel, bureau d'ingénieurs et de géodésie SA, Altdorf.

Conseil en géotechnique: T. R. Schneider, D^r ès sc., géologue, Uerikon/ZH.

Surveillance des travaux de minage et mesures d'ébranlements: Kibag, technique de minage, Zurich.

Exécution: Communauté ARGE Rorbachbrücke Murer SA, Erstfeld; Ed. Züblin & Co, Zurich; Bonetti Frères SA, Andermatt.

Appuis, joints: Proceq SA, Zurich.

Technique de précontrainte: Stahlton SA, Zurich (système BBRV).

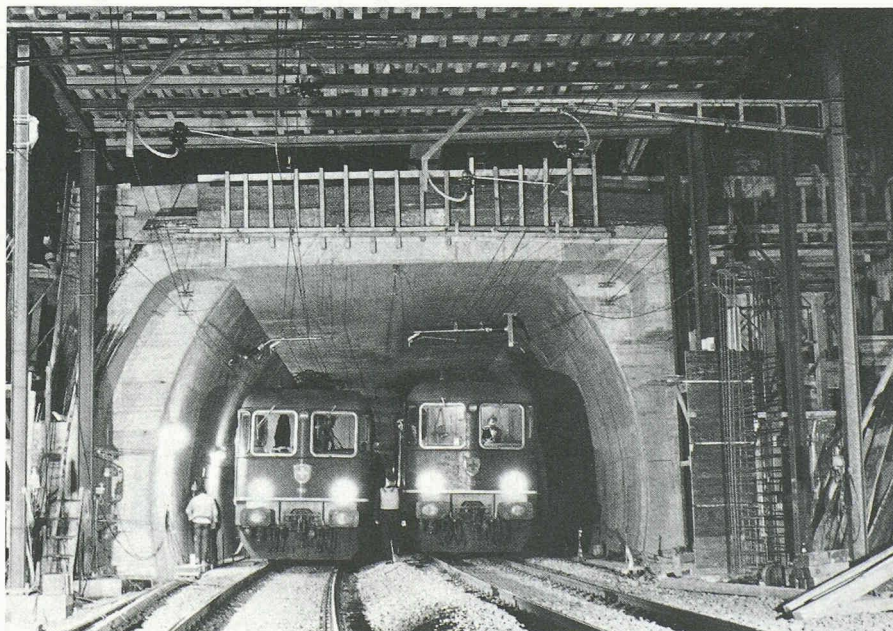
Ancrages: Injektobohr SA, Zurich (ancrages VSL).

Piles provisoires pour la démolition des anciens ponts: R. Aebi SA, Zurich; système de ponts roulants Wolff et échafaudages.

Piles provisoires pour le lancement: E. Gisler SA, Seedorf.

Implantation des mesures de détail et mensuration de l'ouvrage: Chr. Landolt, Beckenried.

- Le deuxième ripage a eu lieu à la faveur d'un arrêt nocturne du trafic ferroviaire de quelques heures (fig. 11 à 14);
- achèvement des cadres d'extrémité et des appuis reprenant les charges d'avalanche;
- travaux de finition des voies, de la caténaire et des installations de sécurité;
- démontage des grues, des ponts roulants et des installations côté Göschenen.



Essai de charge, effectué dans la nuit du 20 au 21 novembre 1983, après la mise en place définitive de l'ouvrage.

L'ouvrage en quelques chiffres

Culées		Section du pont:	24,85 m ²
Fouilles:	4200 m ³	Masses	
Béton:	2500 m ³	Par étape:	690 t
Armature:	150 t	Lors du ripage:	8200 t
Pont		Pont équipé:	11 000 t
Béton:	3600 m ³	Dont béton:	8990 t
Coffrages:	4900 m ²	ballast:	1200 t
Armature:	480 t	trafic:	1720 t
Précontrainte:	80 t		
Galerie		Matériaux	
Béton:	1600 m ³	Béton:	culées PC 325 kg/m ³
Coffrages:	2900 m ²		$\beta_{28w} = 300 \text{ kg/cm}^2$
Armature:	190 t		pont HPC 325 kg/m ³
Poids et charges du pont			
Béton:	62 t/m		$\beta_{w3} = 300 \text{ kg/cm}^2$
Ballast:	12 t/m		$\beta_{w28} = 400 \text{ kg/cm}^2$
Trafic 2 voies:	18 t/m	Acier:	Ac III
Total:	92 t/m		

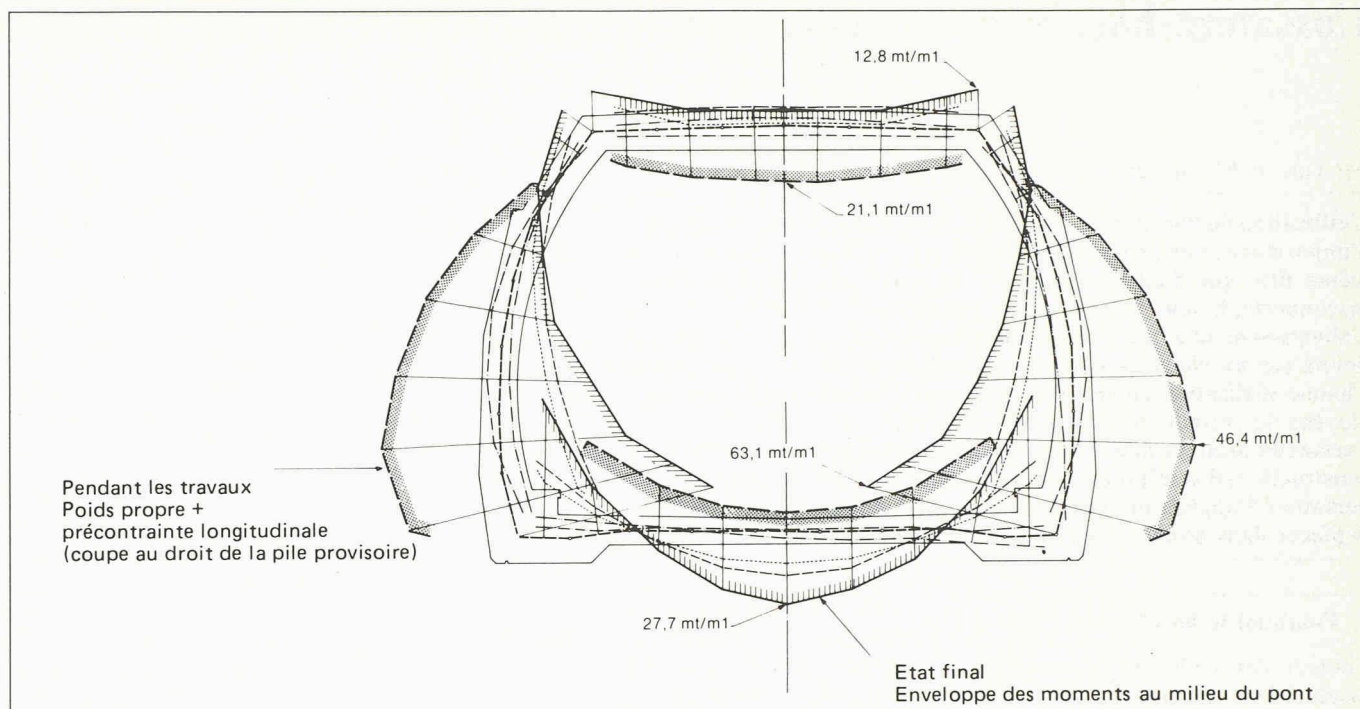


Fig. 14. — Moments transversaux sur le pont.

7.3 3^e année : 1984

Cette année verra l'achèvement des travaux, notamment ceux des ouvrages complémentaires :

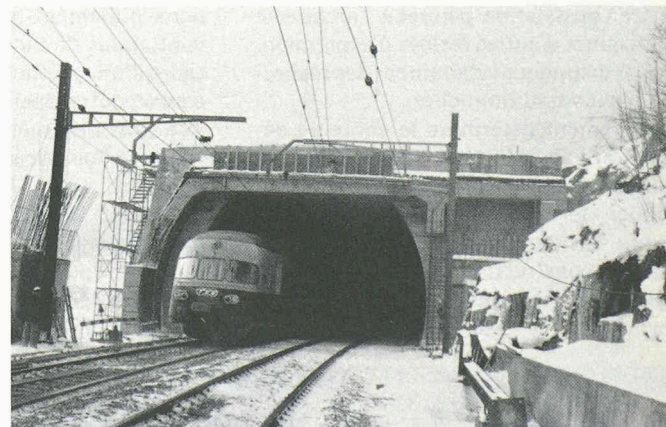
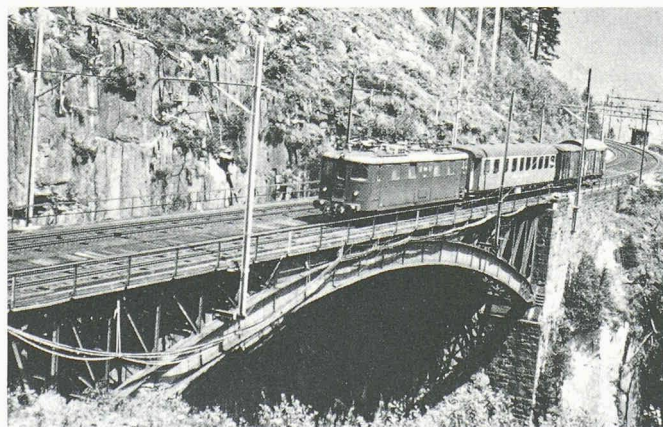
- tunnel de protection et galerie côté Wassen ;
- isolation de la dalle supérieure du pont et des galeries ;
- couche protectrice sur la paroi amont du pont ;
- couverture des galeries ;
- câblage franchissant le pont ;
- finitions.

Devisés à 11 millions, les travaux se monteront finalement à environ 12 millions, en raison notamment du renchérissement du coût de la vie. Ce montant n'a rien d'excessif, si l'on considère les économies que le nouveau pont permettra sur les frais de surveillance et d'entretien. Surtout, la sécurité et la régularité de l'exploitation en seront considérablement améliorées. Ce sont là les atouts majeurs de la ligne du Saint-Gothard dans la concurrence entre les traversées ferroviaires alpines, en attendant le tunnel de base, qui permettra d'y ajouter

ceux de la vitesse et d'une consommation d'énergie considérablement réduite.

La version française de cet article a été rédigée par nos soins sur la base de la documentation fournie par les CFF, que nous remercions particulièrement d'avoir mis à notre disposition les illustrations. Les photographies sont dues à M. Ernst Schneider, de la division des travaux du II^e arrondissement CFF, à Lucerne, à qui vont également nos remerciements.

Jean-Pierre Weibel



Deux ans et demi, avec deux hivers, séparent ces deux photographies. Les ponts métalliques ont disparu et le trafic s'écoule en toute sécurité sur le nouveau pont couvert, capable de résister aux avalanches. Sur la photographie de droite, on distingue les premiers travaux de la galerie qui prolongera le pont sur une longueur de 45 mètres.

Bibliographie

Espace privé — Espace collectif — Espace public

Thèse n° 493 (1983) présentée au Département d'architecture de l'EPFL pour l'obtention du grade de docteur ès sciences par Roderick John Lawrence. Le but de cette thèse est d'établir et de présenter une typologie de logements populaires construits

à Genève, à Fribourg et au Locle entre 1860 et 1960.

Nous recommandons à nos lecteurs de se hâter de commander leur exemplaire (ils deviennent rares !) au prix de Fr. 25. — auprès du DA, av. de l'Eglise-Anglaise 12, 1000 Lausanne.

CAO de la conception à la construction, tout un programme

par J. J. Driay, J. M. Azema, E. Chapron, P. Mahé, R. Sénéchal. —

Un vol. 14,5 × 21,5 cm, 96 pages, 34 figures et photos. Editions Eyrolles, Paris, 1983. Prix : 90 fr.

La CAO ou Conception assistée par ordinateur est devenue un outil indispensable dans les industries de pointe. Le bâtiment, quant à lui, est resté quelque peu en retrait du fait certainement de la multiplicité des intervenants et du coût élevé des investissements nécessaires ; et pourtant, l'informatique est probablement l'un des moyens qui permettra

une réelle évolution de ce secteur.

Pour ces raisons les auteurs cherchent à informer le lecteur au travers de cet ouvrage, à le sensibiliser à l'intérêt que peut lui apporter un tel outil, et lui faire comprendre ses possibilités actuelles et futures.

A l'heure où plusieurs de nos confrères se penchent sur l'opportunité de s'équiper de la sorte, ce petit ouvrage permettra une prise de connaissance du problème.