Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 120 (1994)
Heft: 7

Artikel: Nouveau pont sur la Landquart à Klosters
Autor: Boskovitz, Pierre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78308

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: 17.08.2025

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

Nouveau pont sur la Landquart à Klosters

Adapté de l'allemand [1]
par Pierre Boskovitz, rédacteur

Le réseau à voie métrique des Chemins de fer rhétiques (RhB), long de 375 km, a été construit entre 1886 et 1914, puis électrifié entre 1913 et 1922. Les Grisons étant une région de hautes montagnes et de nombreuses vallées, les lignes ferroviaires y franchissent des dénivellations importantes.
Pourtant, l'ensemble du réseau est à traction par adhérence – donc sans tronçon à crémaillère – malgré des déclivités pouvant aller jusqu'à 70‰. Le réseau ne compte pas moins de 116 tunnels et galeries totalisant 40 km, ainsi que 485 ponts d'une longueur totale de 12 km, dont certains sont des ouvrages d'art remarquables.
Sous les conditions de charge, de vitesse et de traction prévalant à l'époque de leur construction, les ponts qui furent réalisés en treillis métallique constituaient des ouvrages en filigrane où les rails étaient fixés à même la structure; puis, au gré des évolutions subséquentes et de l'électrification des lignes, ils durent peu à peu être adaptés et renforcés.

Ligne de la Vereina

Pour la première fois depuis 1914, le réseau des RhB connaît actuellement une extension importante, par la construction d'une nouvelle ligne, celle de la Vereina, appelée à relier celles existantes de Davos et de l'Engadine, entre Klosters et Susch-Lavin.
La nouvelle ligne représente un important développement pour l'économie des transports des Grisons. Premièrement, elle améliorera sensiblement la desserte de la Basse-Engadine et de la vallée de Münster, en les reliant directement au nord du canton et au reste du pays. Deuxièmement, elle dotera le réseau d'une flexibilité bienvenue, en déchargeant la ligne de l'Albula, située plus au sud-ouest.
Enfin, le trafic routier bénéficiera aussi de cette nouvelle liaison ferroviaire, puisqu'elle permettra – grâce au transport des voitures par rail à travers le tunnel percé dans le massif de la Vereina – de rejoindre sans détours la Basse-Engadine pendant la période hivernale, lorsque le col de la Fluela est fermé. (Un projet prévoyant l'aménagement de la route du col de la Flüela, pour la rendre praticable toute l'année, a en effet été abandonné, au profit de l'équipement de la nouvelle ligne d'une capacité de transport des véhicules par le rail.)
Outre l'aménagement de la gare de Klosters et les adaptations nécessaires du réseau routier, ce projet important comprend la construction:
- d'un nouveau pont ferroviaire sur la Landquart à Klosters,
- du tunnel en courbe de Zugwald, long de 2,160 km, avec une pente de 40 ‰,

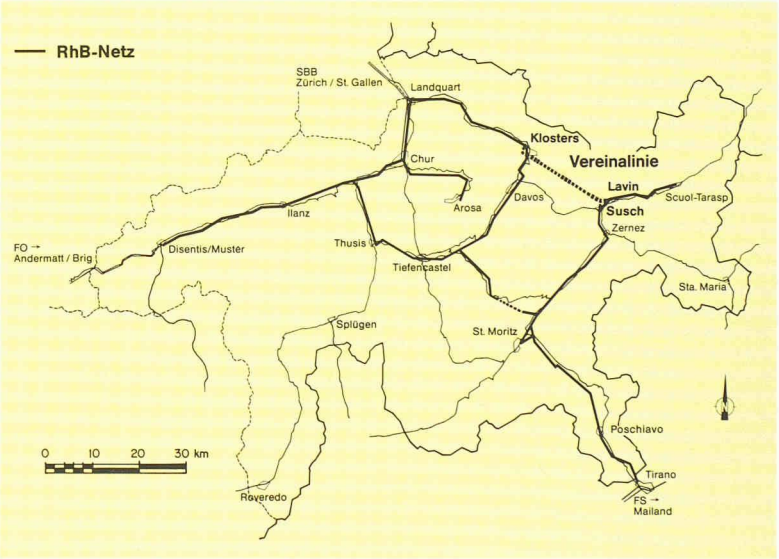


Fig. 1. – Réseau des Chemins de fer rhétiques avec la ligne (en construction) de la Vereina

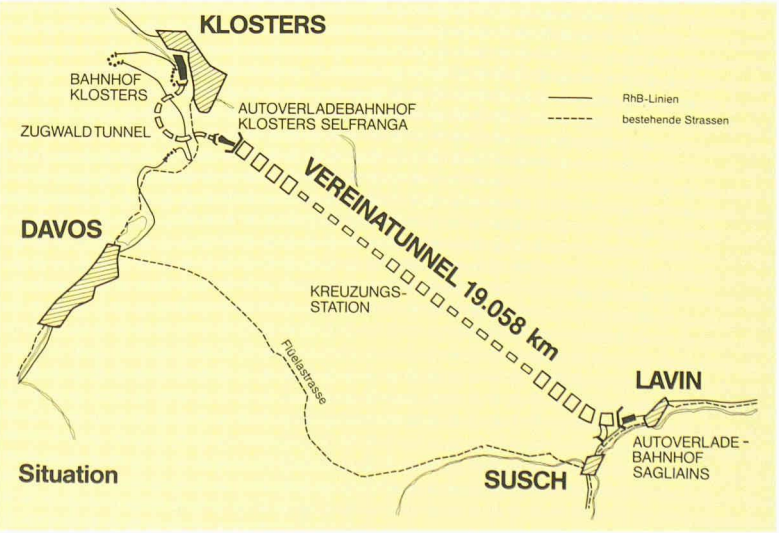


Fig. 2. – Ligne de la Vereina: situation

[1] Série d'articles parus dans *SI+A*, 111 (1993)46, pp. 825-864

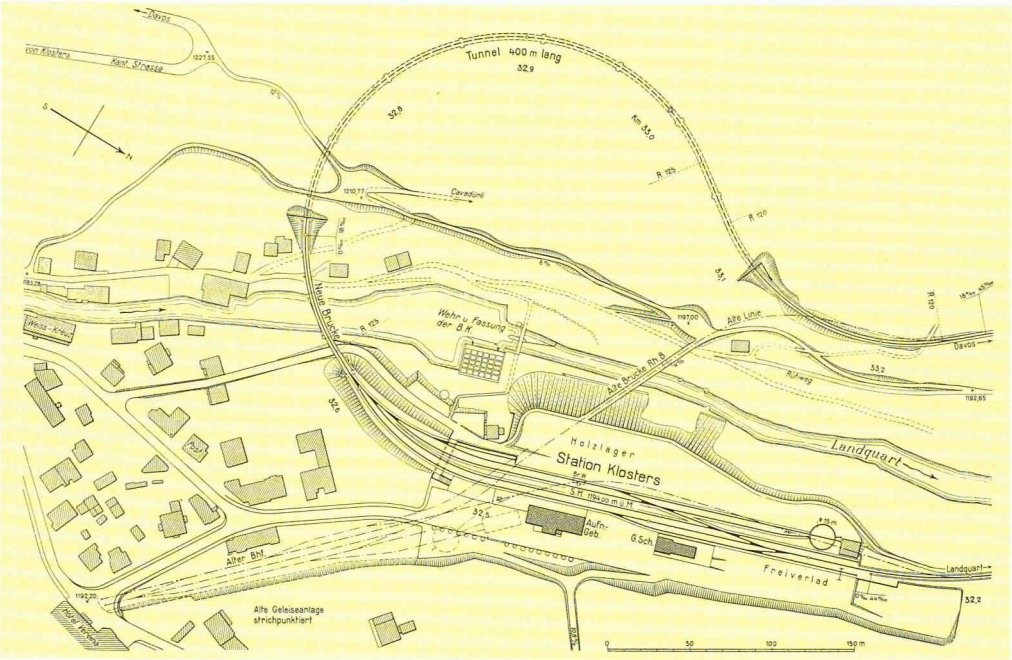


Fig. 3. – Transformation de la gare de Klosters en 1930

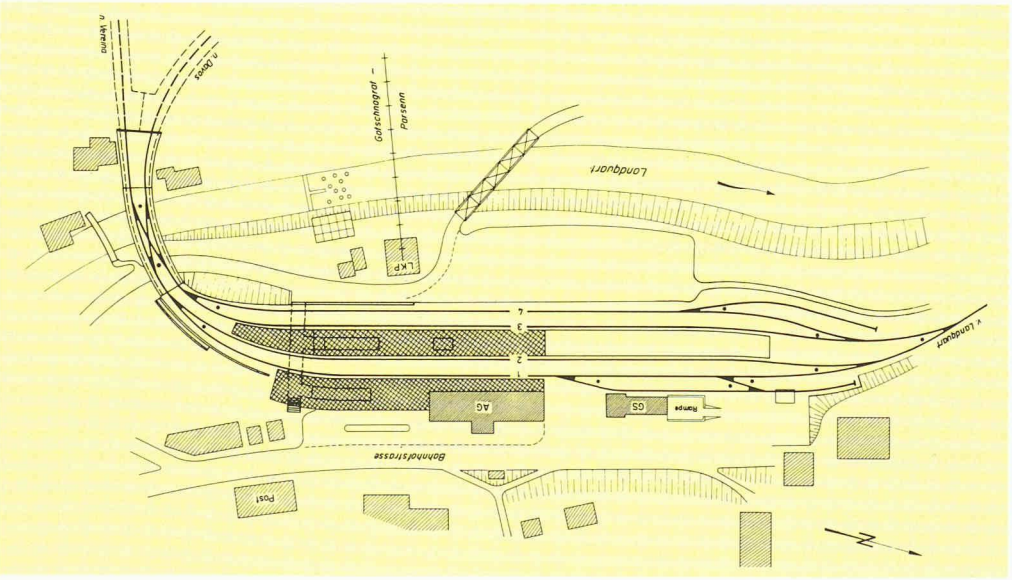


Fig. 4. – La gare de Klosters après la mise en service de la ligne de la Vereina

- de la gare de chargement des véhicules de Klosters Selfranga,
- du tunnel de la Vereina, long de 19,058 km, qui devra pouvoir être parcouru en 17 minutes,
- de la gare de chargement des véhicules de Sagliains entre Susch et Lavin.

Les deux tunnels sont à simple voie, mais des possibilités de croisement sont prévues à leurs entrées ainsi qu'au milieu du tunnel de la Vereina [2].

Près de vingt ans de préparatifs ont abouti au démarrage des travaux en avril 1991, l'ouverture de la ligne étant prévue pour le printemps 2000. Le coût de l'aménagement est estimé à 538 millions de francs (1985), dont 85% sont couverts par une subvention fédérale de 457 millions de francs.

Ponts sur la Landquart à Klosters

La première ligne du réseau des Chemins de fer rhétiques, celle de Landquart - Klosters - Davos, longue de 50,123 km, ouverte en 1889-1890 et électrifiée entre 1920 et 1921, est caractérisée par un rayon minimal de 100 m pour ses courbes et une déclivité maximale de 45 ‰. Elle comprend 4 tunnels et 57 ponts [3] d'une longueur totale de 839 m.

A l'origine, la gare de Klosters était en cul de sac et les trains partant pour Davos, après rebroussement, traversaient la Landquart par un pont à poutre continue à quatre travées en treillis métallique, long d'une centaine de mètres et renforcé plus tard par l'adjonction d'une membrure inférieure (de cet ouvrage subsistent encore, au nord de la gare actuelle, trois travées sans le renforcement, complétées par un tablier pour véhicules routiers et piétons; seul un trafic réduit y est toutefois autorisé). La lourdeur des manœuvres de rebroussement a cependant imposé une modification du tracé (avec la construction d'un tunnel en courbe au rayon de 125 m, long de 400 m, sur la rive gauche de la Landquart) et, par là, la construction d'une nouvelle gare et d'une nouvelle traversée de la Landquart, au sud et en amont de la première. Le nouveau pont, construit en 1930 par Robert Maillart, est un ouvrage en courbe, long de 75 m, en béton armé. Il comprend deux viaducs d'approche et une travée centrale de 30 m, réalisée sous la forme d'un arc polygonal de 7,9 m de flèche [4]. Malgré ses qualités, les nouveaux développements et la construction de la ligne de la Vereina, associés au mauvais état de conservation de l'ouvrage, dû aux déformations géologiques sur la rive gauche, en ont imposé le remplacement.

Le nouveau pont, donc celui de la «troisième génération», est un pont-poutre en courbe, long de 76,5 m, en béton armé pré-

[2] Pour les tunnels de la ligne de la Vereina, voir: «Vereinalinie der RhB: Zugwald- und Vereinatunnel», Documentation SIA D 0113, Zurich, SIA, 1993

[3] JOHNER: «Die schmalspurige Adhäsionsbahn Landquart-Davos» in *Schweiz. Bauzeitung*, 16(1890)9, pp. 51-54; 10, pp. 57-60; 11, pp. 63-66

[4] «Die Linienverlegung der Rhätischen Bahn in Klosters» in *Schweiz. Bauzeitung*, 96(1930)25, pp. 337-341

contraint. La section fermée est de forme trapézoïdale comprenant un tablier inférieur et une dalle supérieure reliés par des treillis latéraux. Comme seuls quelques mètres séparent le pont de l'entrée des tunnels (celui de la ligne de Davos d'une part, celui de Zugwald sur la nouvelle ligne de la Vereina d'autre part), une galerie de transition à section fermée relie le premier à l'entrée des seconds.

Le nouvel ouvrage comporte deux voies en courbe serrée avec les aiguillages permettant tous les changements de voie. La voie ballastée repose sur un tablier en forme d'auge. Les trains roulent ainsi à l'intérieur d'un «pont-galerie».

Dans l'étude des différentes variantes, il fallait tenir compte:

- des conditions géologiques particulières,
- du gabarit des routes à respecter,
- de la situation de l'ouvrage dans une zone dense de villégiature, avec les exigences écologiques élevées qui en découlent,
- de la nécessité de réaliser l'ouvrage sans interruption du trafic ferroviaire entre Klosters et Davos,
- de la nécessité, enfin, de maintenir l'accès au chantier du tunnel de Zugwald.

Outre les points de vue technique et économique, deux autres considérations ont encore déterminé le choix de la solution retenue. D'une part, on ne voulait pas remplacer un ouvrage d'art original par un pont de conception banale, même s'il répondait parfaitement aux besoins techniques, et d'autre part, on souhaitait accentuer le départ de la nouvelle ligne.

Tout près du pont ferroviaire, une nouvelle passerelle est appelée à faciliter la circulation piétonnière entre les deux rives de la Landquart et à reprendre la fonction d'une vieille poutre ayant servi à la stabilisation de l'ancien pont. Par son matériau et la forme choisie, elle crée une unité de style.

Conditions géologiques

Les conditions géologiques et le niveau de la nappe phréatique varient notablement entre les deux rives de la Landquart. Côté gare (rive droite), le sol est constitué d'alluvions, alors que sur la rive gauche, on a affaire à la masse en mouvement de la Gotschna. Le déplacement de celle-ci est systématiquement surveillé depuis 1939 et présente une grande régularité, soit de 9 à 10 mm par année. Les mesures réalisées dans le cadre des travaux actuels montrent que le glissement s'effectue sur un seul plan situé à 14 m de profondeur.

Fondations

L'ouvrage repose sur quatre appuis ponctuels soutenus par des puits de fondation profonds, de section circulaire ou elliptique, reliés par un caisson. Côté montagne, ces puits restent au-dessus de la surface de glissement mentionnée plus haut. Comme de ce côté-ci, le pont a des appuis fixes, l'ouvrage suit la masse dans son déplacement. Les mouvements sont absorbés par des appuis glissants, du côté de la gare. Tous les appuis sont équipés pour la mesure des charges, fort utile durant les travaux comme pour la surveillance ultérieure de l'ouvrage.

Structure

Comme la section du pont lui-même entoure le gabarit du train, la structure dispose d'une hauteur confortable. La section est composée du tablier en forme d'auge (60 cm d'épaisseur), de la dalle supérieure travaillant en compression (50 cm), ainsi que des diagonales (à section de 80 x 100 cm) des treillis latéraux inclinés vers l'intérieur, assurant la solidarité de ces deux éléments. Disposés aux extrémités de la structure, deux portiques massifs sont destinés à la transmission des efforts de torsion importants vers les appuis.

Non seulement la voie, posée sur ballast reposant sur le tablier, est en forte courbe, mais sa géométrie a imposé des dimensions variables pour toutes les parties de la structure.

La précontrainte longitudinale est principalement disposée dans les angles de la section. Les dalles supérieure et inférieure sont en outre dotées d'une précontrainte transversale.

La qualité du béton est d'une importance particulière dans le cas d'un ouvrage directement exposé aux intempéries. Pour cette raison, on a eu recours à un béton de haute densité, composé comme suit: béton B 45/35, PC 325 kg/m^3, résistant au gel, additif de micro-silicate: 15 kg/m^3, adjuvants fluidifiants: 1,7% du poids du ciment.

Statique

Concernant les particularités des charges prises en considération, on peut mentionner que le poids propre de la structure en béton armé atteignait par endroits 27,5 kN/m^3 et qu'on a également dû tenir compte des tassements différenciés des appuis.

Pour le calcul statique, on a considéré l'ouvrage comme une structure spatiale à barres. Si l'ensemble constitue une poutre simple, son axe étant en courbe, il est fortement sollicité en torsion.

La tâche la plus exigeante de l'étude fut cependant la conception précise et détaillée des éléments constitutifs de l'ouvrage, en fonction des possibilités pratiques de leur réalisation. La forme géométrique complexe de la structure a été générée, dans ses trois dimensions, à l'aide de l'ordinateur, qui a également déterminé la longueur des aciers d'armature et les dimensions des éléments de coffrage.

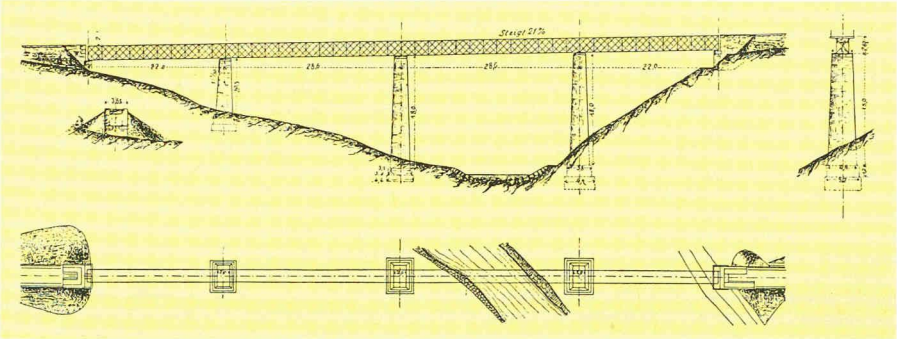


Fig. 5. – Premier pont sur la Landquart à Klosters, en treillis métallique

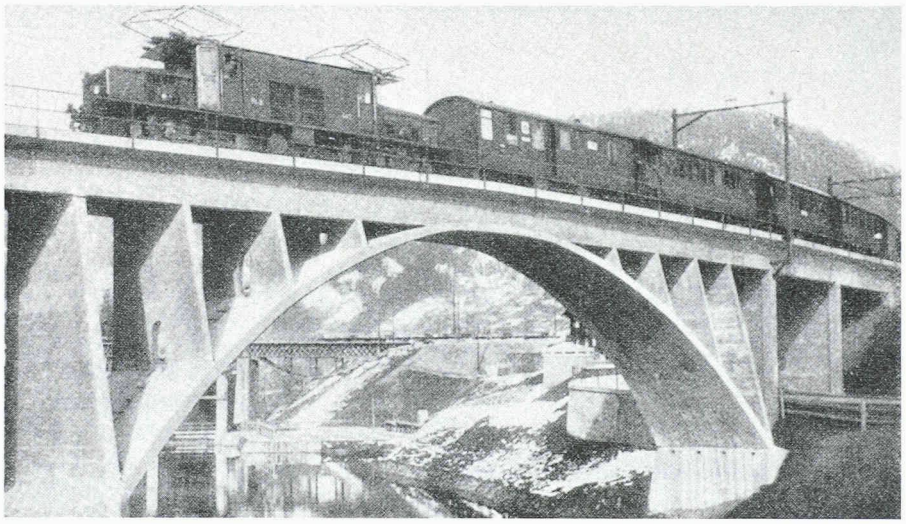
Les portiques situés aux extrémités de l'ouvrage sont des cadres massifs devant absorber d'importants efforts de torsion et ils sont, de surcroît, inclinés. Leur armature et la disposition des câbles de précontrainte ont donc requis une attention particulière.

Réalisation

Pour le chantier, l'espace disponible était très limité, en particulier sur la rive gauche. Une construction provisoire, dans le lit de la rivière, a servi à tour de rôle de pont de service et de cintre. Selon une variante d'entreprise, la structure du pont a été réalisée en dix-huit étapes, accompagnées de précontraintes partielles. La géométrie très complexe de la superstructure et la densité de l'armature et de l'équipement de précontrainte ont posé des exigences élevées.

Le pont a été d'abord construit à 10 m en amont de son emplacement définitif. A cet endroit, il a été équipé et mis en service pour une période de 6 mois (du 25 octobre 1992 au 18 avril 1993), pour permettre la démolition de l'ancien ouvrage et la construction des puits de fondation et des culées. Une fois ces travaux achevés, l'ouvrage a été glissé à sa place définitive et soumis à des essais de charge avant sa mise en service.

Pour la démolition de l'ancien pont, afin d'éviter, autant que possible, les secousses, le bruit et la poussière, on a procédé d'une manière douce par le recours à des machines à «mordre», depuis le pont de service. Les travaux ont commencé en mai 1991 et l'ouvrage a été mis à sa place définitive en avril 1993.



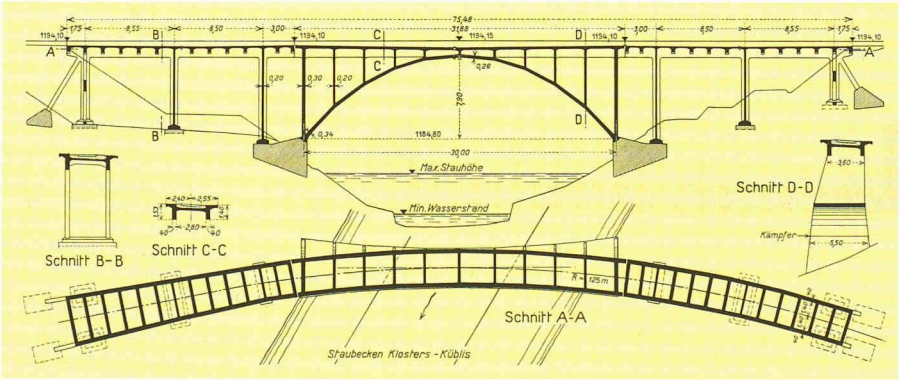
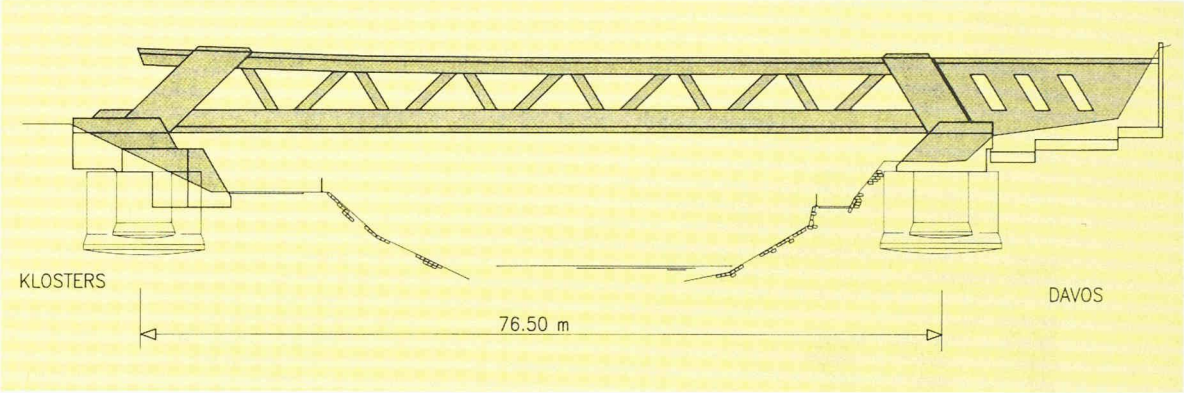
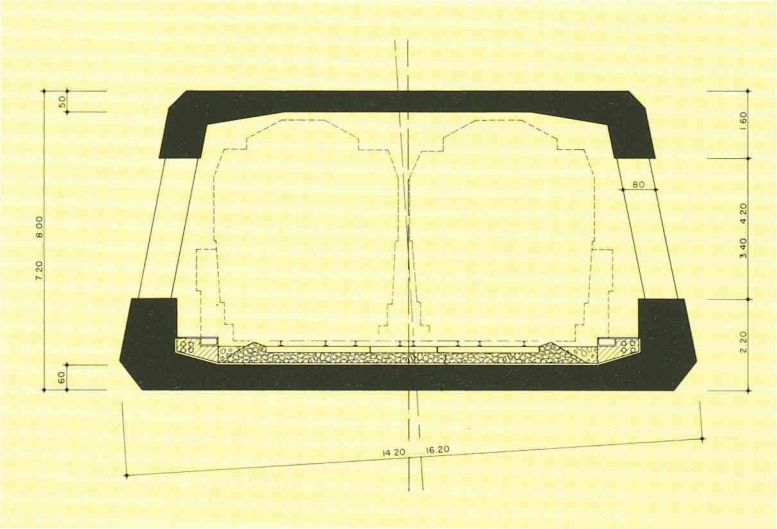


Fig. 6 et 7. – Deuxième pont sur la Landquart à Klosters, construit en béton armé par R. Maillart; à l'arrière-plan, on distingue l'ancien pont renforcé

Fig. 8. – Troisième pont sur la Landquart à Klosters, pont à double voie en béton précontraint; à l'arrière-plan, le premier pont sans le renforcement





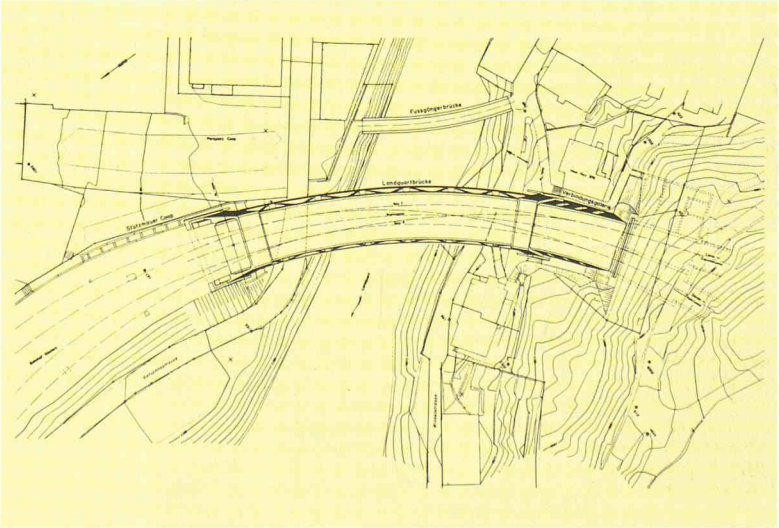


Fig. 9, 10 et 11. – Nouveau pont sur la Landquart à Klosters: élévation, coupe transversale et plan de situation

Mise en place de la superstructure

La mise en place du pont a eu lieu dans la journée du 19 avril 1993. Selon une opération minutieusement planifiée, l'exploitation ferroviaire fut suspendue et remplacée par un service de cars, du 18 avril à 23 h au 25 avril à 6 h. L'ouvrage, d'un poids de 6375 t, devant être déplacé sur une distance de 10 m, le mouvement fut décomposé en 34 glissements de 30 cm chacun.

La structure devait être déplacée le long de l'axe des deux appuis de la rive droite, sur trois poutres en béton précontraint servant de glissières. Comme le pont est en courbe, les appuis de la rive gauche ont en effet nécessité deux glissières parallèles mais séparées.

A son emplacement temporaire, le pont reposait déjà sur des appuis provisoires, en service également pendant son déplacement. Situés derrière les appuis définitifs, ceux-ci consistaient en des pots acier-néoprène injectables, munis d'une plaque revêtue d'une tôle en acier inoxydable. Leur hauteur pouvait être réglée par variation de la pression hydraulique.

Sur la surface en béton des poutres glissières, on a disposé des plaques de néoprène de 13 mm d'épaisseur, revêtues de téflon, et déplacées à la main, au fur et à mesure de la progression.

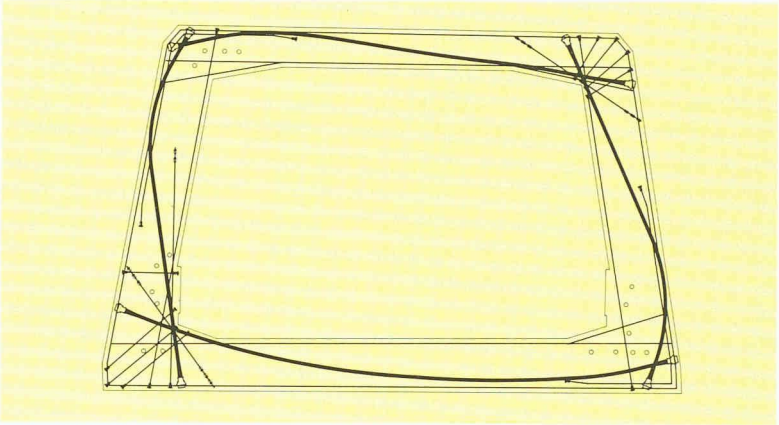


Fig. 12. – Schéma de l'armature de précontrainte transversale des portiques fortement sollicités à la torsion

L'appui situé à l'extérieur de la courbe, sur la rive gauche, servait de point de référence lors du déplacement de la superstructure. D'autre part, la synchronisation des mouvements sur les deux rives était contrôlée à l'aide d'instruments électroniques.

Avant le déplacement, il fallait procéder à la mesure du coefficient de frottement réel entre les appuis et les glissières. On a utilisé cinq vérins de 800 kN sur chaque rive. Le déplacement et l'effort de poussée ont fait l'objet de mesures suivies. Si pour vaincre l'adhérence initiale, une force de 2300 kN a été nécessaire, soit 3,6% du poids de la structure, 1,3 à 2,4% ont suffi pour provoquer les glissements ultérieurs. Les vérins travaillaient donc à des pressions basses, comprises entre 40 et 80 bars. Le déplacement proprement dit a pris huit heures, ce qui correspond à une vitesse de 1,25 m/h, soit à 15 minutes par avancée de 30 cm, dont 200 s pour l'extension des vérins.

Après un positionnement précis de la structure, les appuis provisoires ont été déchargés pour transférer le poids de l'ouvrage sur les appuis définitifs.

Fig. 13. – Nouveau pont avec passerelle en amont

Essais de charge

Le 24 avril 1993, on a procédé à une série d'essais de charge minutieusement préparés. Les mesures effectuées ont prouvé l'accord entre le comportement effectif de l'ouvrage et le modèle théorique qui a servi aux calculs statiques. En même temps, les résultats servent de base aux inspections effectuées tous les six ans par l'Office fédéral des transports (OFT) et à la surveillance de l'ouvrage.

Les essais de charge permettent en effet de déterminer une constante élastique propre à chaque ouvrage, comme mesure de sa rigidité globale. D'autre part, avec des essais de charges en mouvement, on peut déterminer la majoration due à l'impact de celles-ci. Les variations de ces données dans le temps permettent des déductions quant à l'état de conservation des ouvrages.

Les charges s'élevaient jusqu'à 5160 kN et l'on a mesuré les déformations, l'influence des variations de température et les réactions d'appui. Pour la charge utile, deux locomotives «crocodile» (Ge 6/6 I) et huit wagons de marchandises en vrac étaient à disposition. On a procédé à des essais statiques et dynamiques selon quatre dispositions différentes pour pouvoir mesurer la déformation maximale due à la flexion et à la torsion, ainsi que les réactions d'appui. Pour la mesure des effets dynamiques, la vitesse de déplacement des charges a été toutefois limitée à 20 km/h, les voies n'étant encore posées que provisoirement. Grâce à une planification précise, l'ensemble des mesures a pu être effectué en deux heures et demie.

Les essais ont montré une concordance presque parfaite entre valeurs théoriques et mesurées, en comptant avec un module d'élasticité global de $E = 47\,500$ N/mm^2, ce qui cor-

respond bien à la qualité de béton employée. On a ainsi constaté que sous les charges d'essai – correspondant environ à la moitié des charges maximales – le comportement de l'ouvrage est parfaitement élastique. Les mesures ont également confirmé le rôle important que jouent des différences de température entre diverses parties de la structure, dans le cas d'un ouvrage de telles dimensions et forme.

Coûts

L'aménagement complet lié au remplacement de l'ancien ouvrage par le nouveau a coûté 8 millions de francs (1990), dont 5,8 millions pour la construction du pont proprement dit. Cela correspond à un prix de 4550 fr. par m^2 de tablier.

Aménagements ferroviaires

Après l'ouverture de la ligne de la Vereina, prévue pour l'an 2000, les tâches de la gare de Klosters se trouveront considérablement accrues. Déjà centre de contrôle de la ligne Landquart-Davos, celle-ci devra étendre sa compétence sur la nouvelle ligne, y compris les deux gares de chargement de véhicules. Comme les trois lignes qui se rencontrent à Klosters sont toutes à simple voie, les trains continueront à s'y croiser.

De plus, les convois venant de Scuol et ceux arrivant de Davos devront être assemblés en gare de Klosters pour poursuivre leur voyage ensemble vers Landquart et, inversement, ceux de Landquart devront être séparés. Cet accroissement notable des charges nécessite des aménagements importants aussi bien de la superstructure ferroviaire que des installations de contrôle. La transformation de la gare comprend notamment la construction d'un nouveau quai, qui sera accessible par un passage sous-voie déjà existant.

Cependant, avant d'atteindre cette situation finale, l'aménagement ferroviaire devra suivre, à travers plusieurs étapes, l'évolution des travaux de la nouvelle ligne. Ainsi, pendant la construction du nouveau pont, l'ancien ouvrage devait toujours assurer le trafic (essentiellement voyageurs) de la ligne vers Davos, auquel s'ajoutait la desserte du chantier du tunnel de Zugwald par l'embranchement d'une voie sans issue sur la rive gauche. Il s'agissait non seulement d'y amener tout le matériel nécessaire au chantier, mais encore d'évacuer les matériaux de l'excavation.

Après l'achèvement de la superstructure du nouveau pont qui se trouvait alors à son emplacement provisoire, le trafic y a été transféré pour permettre la démolition de l'ancien.

La mise en place du nouvel ouvrage marque à nouveau le début d'une étape pour l'aménagement ferroviaire, pendant laquelle le chantier du tunnel de Zugwald continue à devoir être desservi.

Après le percement complet de ce dernier, une gare de chantier sera ouverte à l'emplacement de la future gare de chargement, entre les deux tunnels, et c'est seulement après le percement total du tunnel de la Vereina que l'aménagement définitif de la gare de Klosters pourra être entrepris.

Mentionnons encore que la double voie qui traverse le nouveau pont a une géométrie fort complexe. Quant aux aiguillages métriques en courbe, qui sont des pièces uniques, et donc fort coûteuses, il fallait, dans la mesure du possible, les reprendre dans la nouvelle configuration.

Impact sur l'environnement

La construction de la ligne de la Vereina crée une situation nouvelle dans la région. Pendant la décennie dévolue à ces travaux, les émissions atmosphériques ainsi que le bruit font l'objet de mesures suivies afin de connaître l'influence de ces transformations. La nouvelle ligne reliera deux régions essentiellement touristiques dont il importe, en effet, de conserver les attraits, à savoir: le paysage naturel, le silence et l'air pur.

Ces préoccupations se traduisent notamment par deux questions.

- Comment concilier la nécessité de protéger l'environnement avec celle de limiter le coût des travaux de construction?
- Comment éviter les nuisances pouvant susciter des protestations et des oppositions qui, à leur tour, sont source de retards et de frais?

Les études entreprises en vue du contrôle des effets des travaux sur l'environnement devaient aussi en définir les phases critiques; les mesures effectuées ayant en outre pour but de montrer aux intéressés que leurs problèmes étaient pris au sérieux et de disposer d'informations étayées en cas de contestation.

Les émissions atmosphériques d'un chantier sont principalement dues aux moteurs diesel des engins. Dans le cas de la ligne de la Vereina, il a été décidé, dès le début, d'effectuer, dans toute la mesure du possible, les transports de chantier par rail plutôt que par camions. Cela dit, différentes opérations, difficilement évitables dans un tel contexte, soulèvent des nuages de poussières dispersés par le vent. Quant au bruit, s'il n'existe pas de prescriptions en la matière pour les chantiers, on peut cependant distinguer entre bruits «chroniques» et bruits «aigus». Les premiers, qui durent ou se répètent régulièrement pendant plus de six mois, sont, dans les Grisons, soumis aux prescriptions valables pour

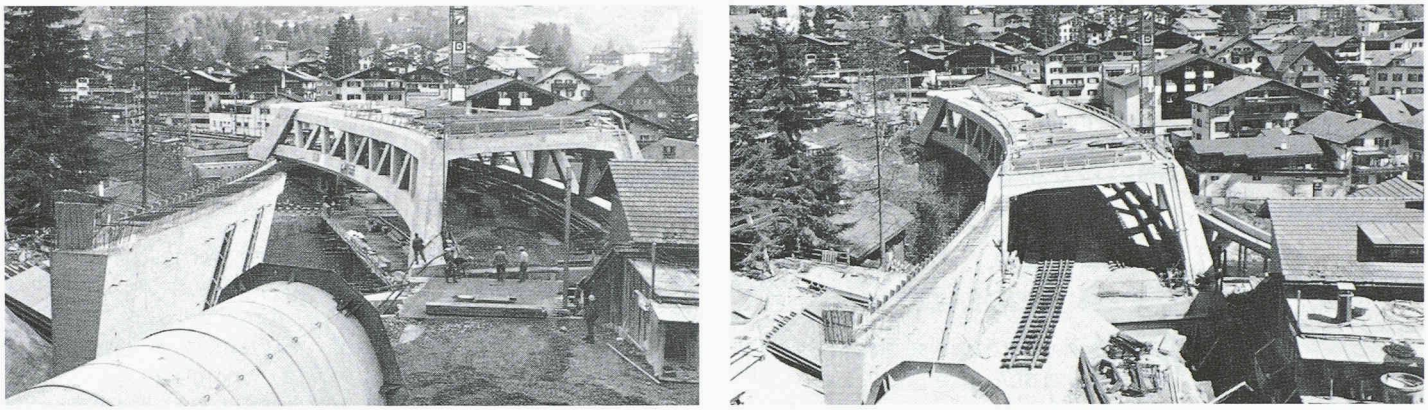


Fig. 14. – Le nouveau pont, avant et après son ripage sur une distance de 10 m

les installations industrielles, les bruits occasionnels pouvant, quant à eux, dépasser ces normes.

D'une manière générale cependant, les mesures effectuées montrent que les principaux responsables des émissions polluantes dans l'atmosphère sont le trafic routier et le chauffage, et non les chantiers.

Enfin, pour comparer le comportement acoustique du nouveau pont sur la Landquart à celui de l'ancien, des mesures ont été effectuées lors du passage des convois les traversant. Celles-ci ont indiqué que l'intensité du bruit est de 40% inférieure (–2 dB) sur le nouveau pont, bien qu'une telle différence soit difficilement perceptible à l'oreille.

En construisant un pont-galerie original à la géométrie complexe, moins de dix ans après la construction, à Wassen, du premier pont-tunnel, le génie civil helvétique a montré son dynamisme et sa capacité d'innovation en réalisant un ouvrage qui témoigne des progrès accomplis entre-temps.

Principaux intervenants

Maître de l'ouvrage:	Chemins de fer rhétiques
Etude et direction des travaux:	Bureau d'ingénieurs H. Rigendinger, Coire
Réalisation:	Consortium
	Zschokke Chur AG, Coire
	Künzli AG Davos, Davos-Platz
	G. Lazzarini + Co AG, Coire
	AG Heinr. Hatt-Haller, Zurich
Cintre:	E. van Randen, Stallikon
Déplacement de l'ouvrage:	Jos. Iten AG, Morgarten
Précontrainte:	SpannStahl AG, Hinwil

Fig. 15. – Encore à son emplacement provisoire, le nouveau pont est déjà en service, alors que l'ancien est en démolition