

Lot d'ouvrage 2: galeries et autres ouvrages d'art

Autor(en): **Müller, Walter / Malagoli, Marco / Bachmann, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 26

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79426>

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.

Etat avant la réfection

la vérification de l'état a été effectuée au cours des années 1992 et 1993. Les défauts constatés peuvent être classés en quatre catégories :

- sécurité de la structure partiellement insuffisante lors de poussées d'avalanches ;
- défauts dus à la pénétration de chlorures dans le béton (corrosion de l'armature) et attaques de sel de déverglaçage près du niveau de la route (fig. 5) ;
- défauts dans la construction en béton armé de la partie supérieure de la galerie, tels qu'enrobage insuffisant des armatures, grande profondeur de carbonatation, fissures, nids de gravier locaux avec corrosion d'armatures et éclatements ;
- défauts de l'étanchéité et de l'évacuation des eaux de la dalle, joints de dilatation et bordures non étanches.

Rétablissement de la sécurité

En cas d'avalanche, les galeries ont non seulement à supporter un poids accru, mais encore la poussée horizontale de la coulée de neige. Sur la base d'une nouvelle expertise relative aux effets des avalanches, les galeries ont été soumises à un contrôle statique selon les nouvelles directives OFR/CFF de 1994. La résistance dans le sens horizontal étant essentiellement tributaire de la paroi amont, la capacité portante de cette dernière s'avère donc d'une importance majeure pour la stabilité de l'ouvrage. Quant à certaines sections des galeries qui ne présentaient qu'une sécurité d'ensemble insuffisante, elles ont été renforcées par un ancrage dans la partie supérieure de la paroi à l'aide de tirants injectés légèrement précontraints.

Remise en état des parois amont

Dans trois des quatre galeries, le béton fortement chargé de chlorures dans la partie inférieure de la paroi amont a été enlevé sur toute



Fig. 3.- Galerie paravalanches de Willerplangen, portail Sud

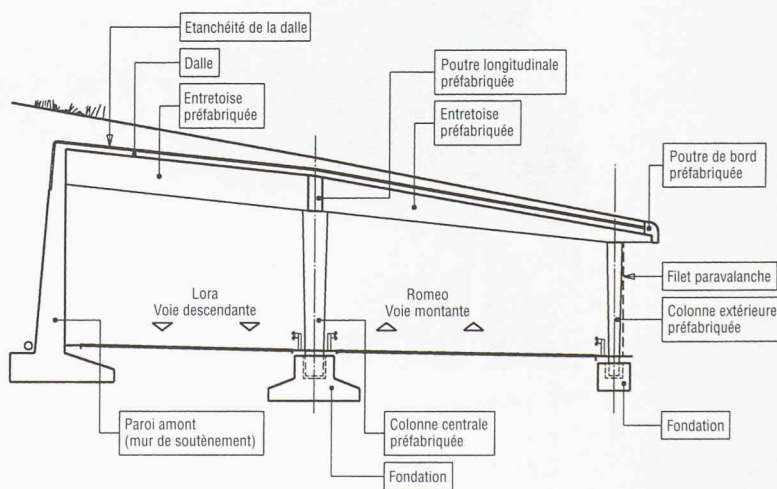


Fig. 4.- Galerie paravalanches de Willerplangen, coupe transversale

la longueur par hydrodémolition, puis remplacé par une couche de béton projeté, après quoi l'entier de la paroi amont a reçu un traitement hydrofuge. La nouvelle couche de 12 à 15 cm de béton a été exécutée sans armature, les bords étant assurés à l'aide de goujons. Dans la galerie de Willerplangen, la qualité du béton s'est révélée nettement meilleure (teneur en chlorures plus faible, défauts locaux moins importants) et seul un traitement hydrofuge de surface a été appliqué (fig. 6 et 7).



Fig. 5.- Etat du pied d'une colonne centrale avant la remise en état

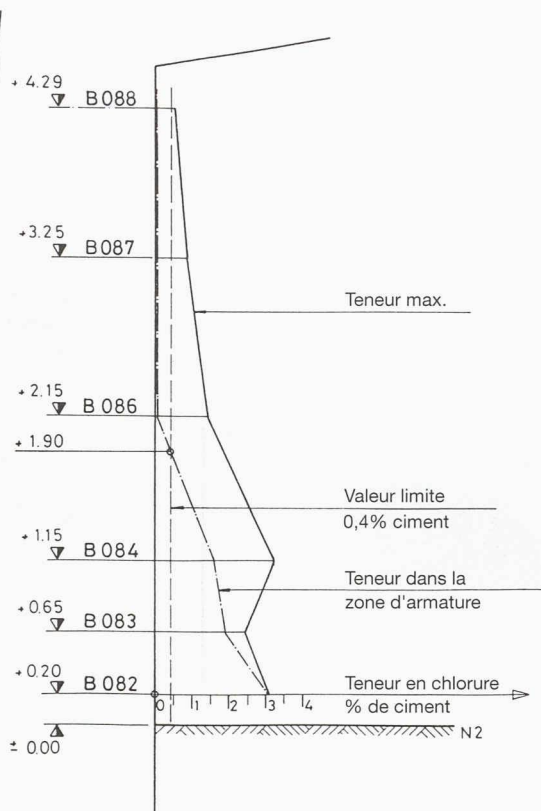


Fig. 6.- Teneur en chlorures de la paroi amont

Remise en état des colonnes intérieures et extérieures

Comme sur les parois amont, la zone inférieure des colonnes présentait une forte teneur en chlorures qui, dans les trois galeries d'avalanches surtout, avaient entraîné des fissures de corrosion presque traversantes et provoqué des creux et des éclatements (fig. 5).

Les solutions suivantes ont été appliquées à la remise en état (fig. 8):

- enlèvement du béton chargé de chlorures sur le pourtour des colonnes par hydrodémolition sur une profondeur de 2-6 cm, jusqu'aux bords des boisseaux face supérieure comprise;

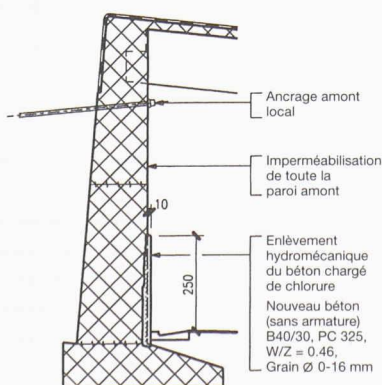


Fig. 7.- Remise en état de la paroi amont

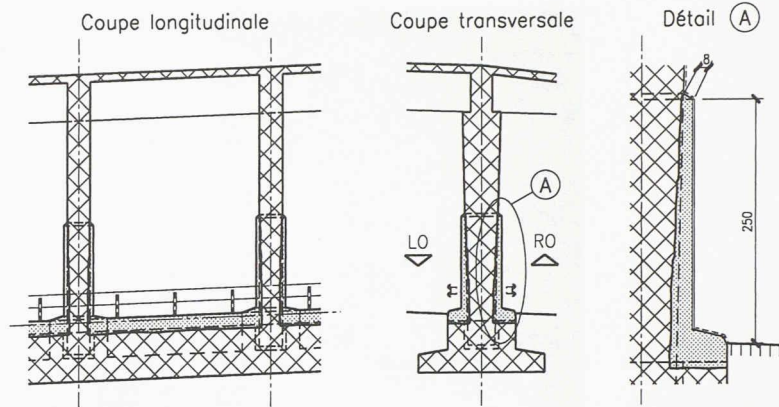


Fig. 8.- Remise en état des colonnes centrales: enlèvement de béton ancien, recouvrement de béton neuf et chemisage en tôle d'acier

- bétonnage des boisseaux jusqu'à 12 cm environ au-dessus du niveau de la route (enrobage de 8 cm de l'armature);
- enveloppement des colonnes par des gaines en tôle d'acier de 6 mm et remplissage de béton;
- protection des socles de béton et des parties supérieures des colonnes.

Constituées de deux parties hermétiquement vissées et destinées à empêcher toute pénétration ultérieure d'eau chargée de sel, les gaines d'acier enveloppant les colonnes font en même temps office de coffrages, de protection des arêtes du nouveau béton et de renforcement contre les chocs. Leur hauteur a été fixée de telle sorte qu'elles s'arrêtent là où la teneur maximale en chlorures ne s'avère plus critique (teneur inférieure à 0,4 % de la masse de ciment) dans la partie supérieure des colonnes, qui a elle-même reçu un scellement de surface complet pour la protéger contre la pénétration d'eau et freiner celle du CO₂.

Remise en état de la dalle

La dalle de couverture de la galerie de protection contre les chutes de pierres présente un enrobage des armatures suffisant avec 4 cm. Outre de petites déficiences localisées, la surface inférieure de la dalle présente une zone plus importante où un mauvais béton (défauts d'exécution) a dû être remplacé par du béton projeté. Les poutres transversales et longitudinales, ainsi que les dalles de couverture des trois galeries paravalanches présentaient des enrobages d'armature de 15 à 20 mm, ce qui est nettement insuffisant. Le bord de carbonatation se trouvait donc immédiatement devant

l'armature et quant à la teneur en chlorures, bien qu'encore faible, elle pouvait à son tour devenir critique en quelques dizaines d'années. Toute la surface inférieure de la dalle a donc été pourvue d'un scellement protecteur contre l'eau salée et le CO₂.

Remise en état de l'étanchéité de la dalle et évacuation des eaux

Dans les quatre galeries, les dalles de couverture sont pourvues de lés d'étanchéité en bitume. Dans la galerie de protection contre les chutes de pierres, le raccord d'étanchéité avec la poutre de bord côté vallée a dû être refait et les joints de dilatation au mastic qui n'étaient plus étanches sur cette poutre ont été remplacés par des bandes synthétiques collées. Dans les galeries paravalanches, la plupart des joints de dilatation n'étaient plus étanches, si bien que par endroits, beaucoup d'eau gouttait sur la route (avec formation de stalactites de glace au plafond et de verglas sur la chaussée en hiver). Le raccord d'étanchéité avec la poutre de bord côté vallée s'était détaché, si bien que les points de jonction avec les dégorgeoirs en saillie laissaient passer l'eau.

Malgré les déficiences et points faibles également constatés dans les zones d'étanchéité planes, on a renoncé à une remise en état complète pour ne renouveler que les joints de dilatation et le raccord côté vallée, tandis que les surfaces planes étaient pourvues d'une couche de plastique liquide étanche. Signalons en passant que le joint de dilatation coudé a été artificiellement redressé à l'aide d'une lame d'étanchéité.

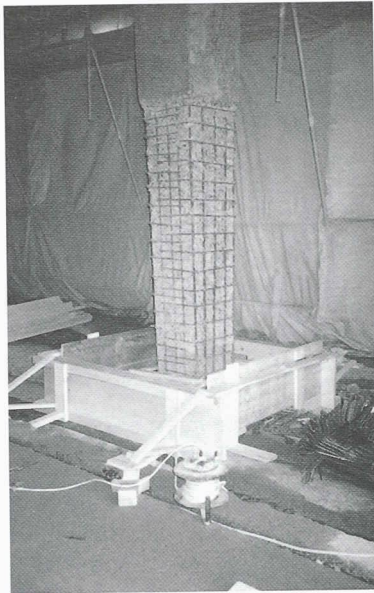


Fig. 9.- Colonne centrale remise en état et pourvue d'un dispositif de mesure

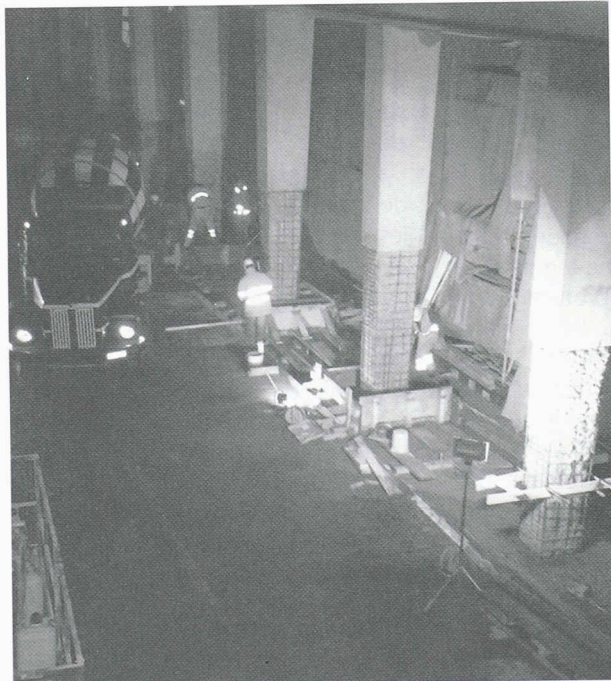
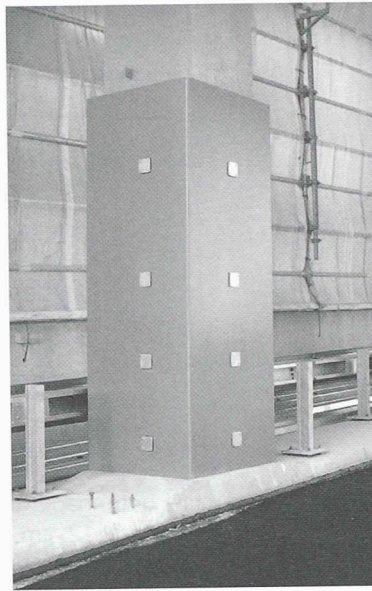


Fig. 10- Aperçu général des opérations de remise en état et de bétonnage

Exécution des travaux dans les galeries

Prestations et faisabilité

Le genre et le déroulement des travaux étaient fondamentalement identiques pour toutes les galeries. Les opérations de remise en état décrites ne pouvant être effectuées que sous une stricte séparation entre chantier et trafic, elles ont été menées en deux étapes. Cela impliquait une exécution des travaux durant les mois de mars, avril et mai de deux années consécutives et, sur les dalles, dans la période de mai à novembre en raison des risques d'avalanche.

Pour l'approbation des interventions par l'OFR, la faisabilité de la remise en état proposée devait être démontrée. L'auteur du projet a dû apporter la preuve qu'en tenant compte d'exigences essentielles et de conditions cadre préalablement définies – telles que le maintien permanent d'une voie de chantier dans la zone des travaux, le travail en équipes par roulement et la semaine de six jours notamment –, la remise en état du volume de construction « Lora », pour un coût de cinq millions par galerie et durant la période du 1^{er} mars au 31 mai (trois mois), était effectivement réalisable.

Appels d'offres

(lots, soumissions parallèles)

La procédure d'adjudication s'est déroulée en plusieurs étapes. Outre les trois appels d'offres principaux, des soumissions parallèles ont été lancées pour les étanchéités en plastique liquide et les glissières de sécurité, les sous-traitants retenus par la Direction des travaux étant ensuite rattachés aux entreprises pilotes concernées.

Les trois appels d'offres pour le lot d'ouvrage 2 (galeries paravalanches) ont été lancés au niveau international en janvier 1996.

Essais préalables et préparation des travaux

Afin de maîtriser les délais imposés pour l'ensemble des ouvrages, il était impératif qu'à l'ouverture du chantier, tous les sous-traitants aient été désignés et que le choix des matériaux, ainsi que les formulations du béton et le déroulement des opérations aient été définis ou testés. Dans la mesure où ils n'avaient pas déjà été effectués, les essais préalables correspondants – qui faisaient partie intégrante du descriptif des travaux –, ont donc été menés pendant la phase de préparation. Or la période de six bons mois consacrée la préparation réfléchiée et détaillée des travaux s'est avérée pleinement justifiée au moment de l'exécution.

Délais et programme des travaux

L'histogramme reproduit à la figure 11 donne un aperçu du programme des travaux établi pour l'étape de remise en état « Lora ». Afin de maîtriser la complexité du volume d'ouvrages à traiter tout en respectant les cadres de travail imposés, il s'est avéré indispensable de représenter le déroulement des opérations pour les deux étapes « Lora » et « Romeo » sous la forme d'un diagramme espace/temps à l'usage des groupes d'entreprises engagés. En outre, la présence constante, sur le chantier, des directeurs des travaux durant la période de mars à mai constituait une nécessité absolue.

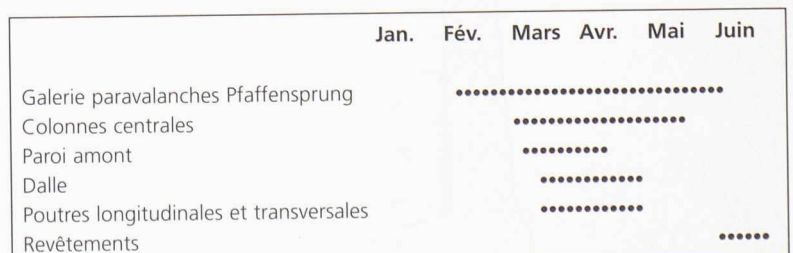


Fig. 11.- Echancier 1997

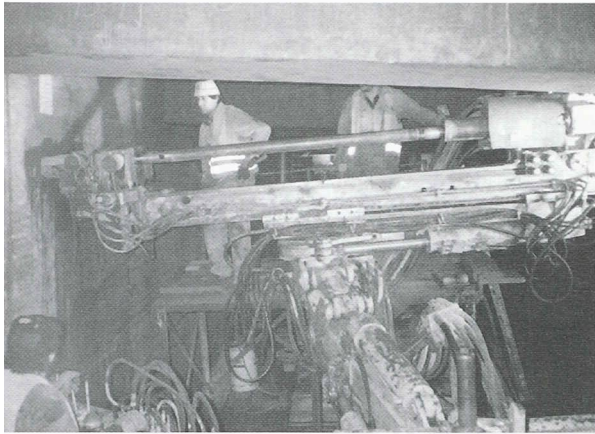


Fig. 12.- Travaux d'ancrage sur la paroi amont, remise en état

Enlèvement du béton par hydrodémolition et alimentation en eau

Les besoins en eau des robots et lances à main utilisés pour l'enlèvement du béton étaient si importants que le service des eaux communal ne pouvait pas en garantir la livraison à partir du réseau d'eau potable. Un dispositif d'alimentation autonome a donc été mis en place dans le bassin de retenue de Pfaffensprung, afin d'y prélever l'eau nécessaire aux travaux d'hydrodémolition dans les galeries de Ripplistal et Pfaffensprung.

Pour maîtriser l'étendue des surfaces à traiter, les quatre groupes d'entreprises ont fait intervenir, outre les lances à main conventionnelles, des automates conçus spécialement pour l'hydrodémolition sur les colonnes et les parois amont.

Nuisances sonores

Les perturbations liées au travail de nuit et temporairement du dimanche ont donné lieu à des plaintes de riverains. C'est surtout durant la période nocturne où la circulation est interdite aux camions, que les nuisances sonores



Fig. 13.- Murs et parois de soutènement, vue générale

émanant du chantier étaient le plus fortement ressenties. Des mesures appropriées (deuxième écran de protection, suppression des travaux bruyants le dimanche, etc.) ont permis d'atténuer le problème.

Assurance de qualité et essais des matériaux

Les contrôles de qualité et les essais correspondants ont été effectués conformément aux prescriptions du contrat d'entreprise. Ils englobaient le contrôle du béton frais selon les normes SIA 162 et 162/1, le prélèvement d'échantillons pour examiner la résistance à la compression, au gel et aux sels de déverglaçage, ainsi que des tests d'arrachement sur trois tirants d'ancrage par galerie et d'élongation sur 5% des tirants d'ancrage scellés.

Pour la remise en état du béton, des surfaces échantillons durent être préparées pour définir le genre de traitement de fond et de protection de surface à apporter et pour vérifier le respect des caractéristiques physiques exigées par contrat pour les surfaces terminées (épaisseur des couches, absorption de l'eau, diffusion de CO₂). Quant aux étanchéités en plastique li-

guide, elles ont fait l'objet de contrôles portant sur l'épaisseur des couches, l'adhérence et la dureté selon l'essai Shore A. Enfin, l'acier a été soumis à des contrôles en atelier, et l'épaisseur de sa couche protectrice de surface a été mesurée.

Autres ouvrages d'art

Parmi les 61 autres ouvrages d'art du lot, il faut surtout mentionner les parois côté montagne et les hauts murs de soutènement réalisés côté vallée. L'état généralement acceptable à bon de ce type d'ouvrages, ne nécessitait aucune intervention immédiate.

Les parois côté montagne sont des murs-poids sans armature, avec un fruit de 3:1. A leur tête, des barrières de protection contre les chutes de pierres courent pratiquement sur toute leur longueur et la remise en état locale du couronnement a été entreprise en liaison avec la transformation des équipements de protection contre les chutes de pierres. Quant aux passages et passages inférieurs des ouvrages, il s'agit généralement de cadres sur une travée bétonnée sur place, dont la longueur ne dépasse pas 12 m.

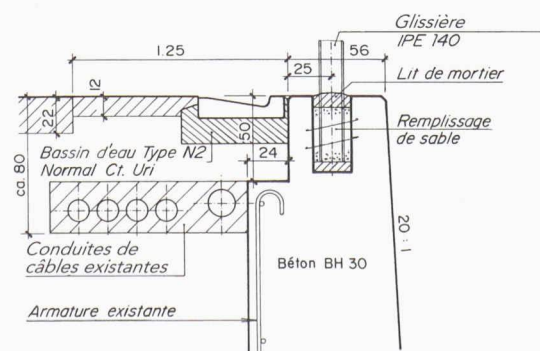


Fig. 14.- Bande d'arrêt avec couronnement existant

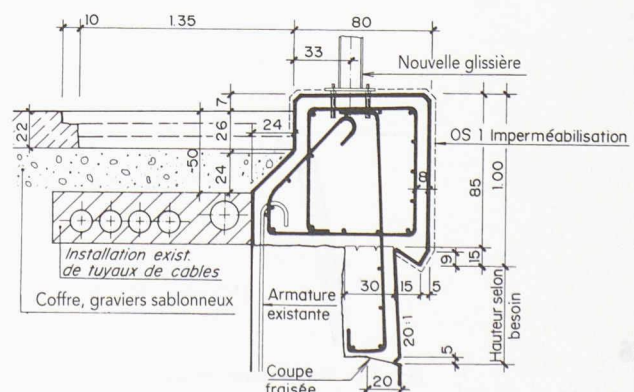


Fig. 15.- Remise en état du couronnement

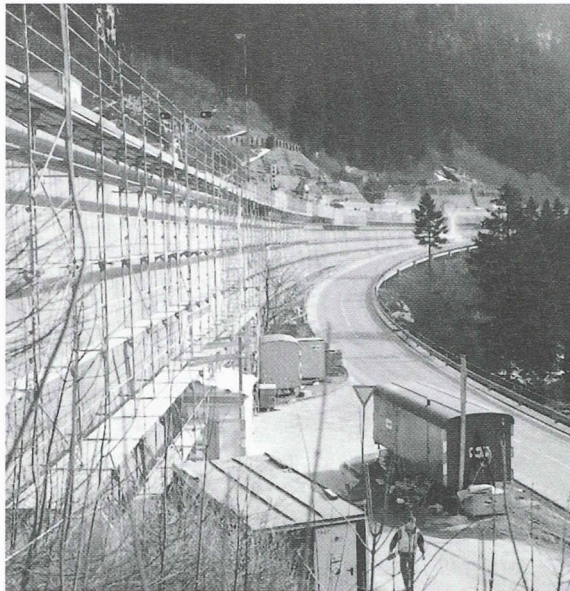


Fig. 16. - Echafaudages d'un mur de soutènement

Murs de soutènement côté vallée

Etat des murs avant la réfection

Conçus comme des murs-poids, d'une hauteur allant jusqu'à 25 m et d'une épaisseur maximale de 3 m, les murs de soutènement

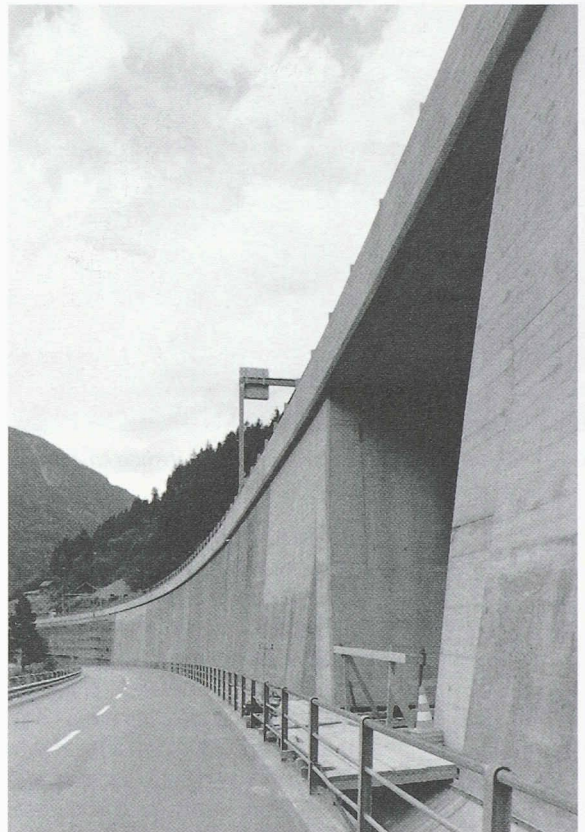


Fig. 20. - Passage du ruisseau au droit du profil 288 après la remise en état

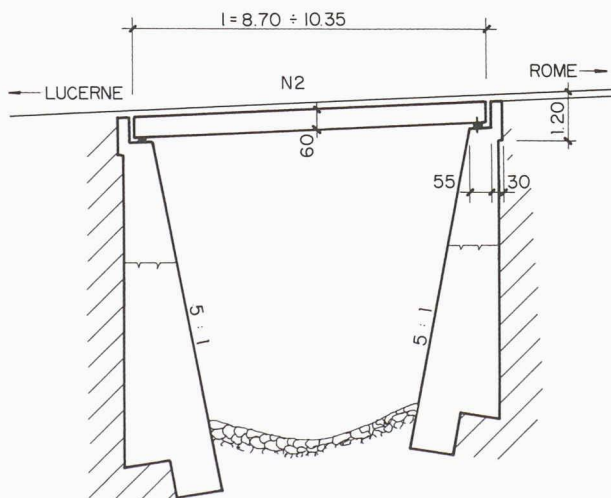


Fig. 17. - Coupe transversale du passage de ruisseau existant au droit du profil 288

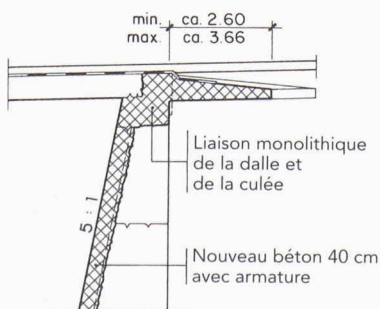


Fig. 18. - Coupe transversale de la nouvelle culée pour le passage du ruisseau au droit du profil 288

côté vallée sont très solidement armés du côté terre dans la zone supérieure, et les poteaux des glissières de sécurité des chaussées sont fixés dans leur tête, large de 56 cm et dépourvue d'armature. L'état de ces ouvrages peut être résumé comme suit :

- le couronnement des murs de soutènement est en mauvais état sur des zones étendues et le mur lui-même est fissuré horizontalement environ 50 cm en dessous du couronnement sur de grandes longueurs ;
- la tête du mur est affaiblie par les réservations pour les poteaux des glissières de sécurité ;
- l'étape de bétonnage supérieure du mur, haute de 4 m, est endommagée (concentrations de fissures aléatoires près des joints de dilatation, fissures horizontales jusqu'à plusieurs millimètres de large) ;
- les parois amont et les parois transversales de deux murs de soutènement cantilever présentent des fissures traversées par l'eau et un drainage fait défaut ;
- le couronnement du mur affleurant le revêtement de la route, l'eau provenant de la chaussée

se déverse librement le long du mur et provoque des dégâts.

Remise en état des murs de soutènement

La remise en état a fait appel aux solutions suivantes :

- remplacement des têtes de mur avec nouvelle coupe transversale sur une longueur continue de 650 m (fig. 15)
- remplacement du couronnement et des écrans de paroi des murs cantilever ;
- remplacements locaux du couronnement en conservant la section existante ;
- amélioration du drainage des murs cantilever par le forage de trous de 100 mm \varnothing et injection des fissures des parois amont et des parois transversales.

Exécution

La destruction, puis le remplacement de l'énorme quantité de béton à traiter en un temps très limité a représenté la principale difficulté d'exécution. Par ailleurs, l'exiguïté de l'espace à disposition a constitué une source de problèmes spécifique : ainsi, tandis que les lieux de travail perchés sur les hauts murs de soutènement étaient inaccessibles de l'extérieur,

Point de vue de l'expert

La tâche de l'expert ou de l'ingénieur chargé du contrôle consiste souvent à vérifier la conception du projet et, à l'issue de l'appel d'offres, à évaluer les variantes éventuellement proposées par les entrepreneurs. A cet examen succède le contrôle du projet d'exécution, des rapports étant rédigés à l'intention du maître de l'ouvrage après chaque phase d'étude.

Or la décision prise par le Service du génie civil uranais de faire appel à un ingénieur dès la phase consacrée au relevé de l'état d'un groupe entier d'ouvrages, ouvrait un champ d'activité qui, bien qu'incluant les tâches énumérées ci-dessus, englobait un domaine beaucoup plus vaste et détaillé. En élargissant l'intervention d'un expert à un lot de plusieurs ouvrages, on lui donne en effet la possibilité d'exercer sa mission de conseil d'une manière bien plus efficace : sa participation aux relevés d'état, puis à l'élaboration de variantes d'intervention – soit à la phase clé des études – facilite grandement son appréciation du projet et ses échanges avec le concepteur s'en trouvent notablement enrichis.

L'attribution au même ingénieur du contrôle de tout un groupe de structures semblables – en l'occurrence les galeries paravalanches et de protection contre les chutes de pierres –, a également eu des retombées positives pour l'ensemble des intervenants. Cela est apparu dès les relevés d'état, où les observations faites sur la pénétration des chlorures dans la première galerie ont pu être utilisées pour déterminer l'état des ouvrages suivants : il ne fut notamment plus nécessaire de rechercher à nouveau la limite exacte entre les zones de projection et de brumisation d'eau, le prélèvement de quelques échantillons s'avérant suffisant. De même, la similitude des structures autorisait la reproduction de traitements appliqués à des éléments précis et les expériences acquises sur le premier ouvrage pouvaient, sous réserve des vérifications nécessaires, être directement transférées à la remise en état des suivants.

Le canton d'Uri ayant décidé la remise en état de sections entières de l'axe A2 avec l'ensemble des infrastructures impliquées, cela a permis d'évaluer tous les ouvrages à l'aune des prescriptions et recommandations en vigueur au même moment. Tous ont ainsi pu être rapportés à un dénominateur commun en ce qui concerne la sécurité de la structure, l'aptitude au service et la durabilité. L'objectif parfaitement raisonnable d'une longue période d'utilisation jusqu'à la prochaine intervention a, selon les cas, débouché sur des remises en état très étendues et coûteuses, mais qui ont redonné aux ouvrages une qualité voisine de celle de constructions neuves. Etant donné que ce type de travaux implique presque toujours d'importantes restrictions de trafic, la démarche adoptée se trouve donc pleinement justifiée et certainement économique à long terme.

Rudolf P. Frey, Zoug

une nouvelle conduite d'évacuation conduite principale était réalisée dans la bande médiane de la route. Or entre ces lieux d'intervention, une piste devait demeurer ouverte au trafic de chantier.

En douze semaines, quelque 600 m² de béton ancien ont été enlevés des murs de soutènement et les couronnements ont été reconstruits sur une longueur de 700 m. Une surface totale de 6000 m² d'échafaudages a été nécessaire à l'exécution de ces travaux.

Passage du ruisseau au droit du profil 288

Profil de l'ouvrage

Le passage du ruisseau est un pont constitué de poutres sur appuis simples, d'une travée de 8,7-

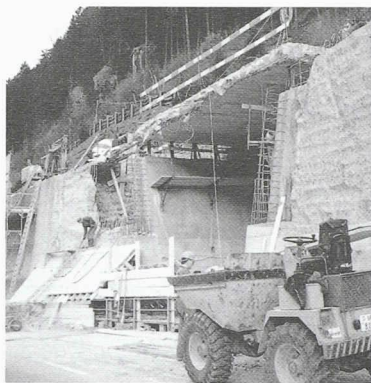


Fig. 19.- Passage du ruisseau au droit du profil 288 durant la reconstruction

10,35 m et d'une largeur de 20,4 m. La dalle pleine de 60 cm d'épaisseur s'appuie sur des culées analogues à des murs de soutènement avec appui fixe d'un seul côté. Les murs de soutènement routier adjacents côté vallée constituent les murs de raccordement des culées, dont seuls les quatre mètres supérieurs sont armés.

Le revêtement de la chaussée y est posé sans joint et sans dalle de transition. Quant à la bande médiane, elle est indépendante de la dalle de roulement.

Etat avant la réfection

La résistance au renversement des piédroits était insuffisante et la dalle du pont faisait office d'étau entre les murs, tandis que les culées et murs de raccordement s'étaient déplacés sous la poussée des terres. La paroi des culées présentait des lézardes allant jusqu'à 5 mm aux arrêts de bétonnage dépourvus d'armatures. Quant aux murs des culées, ils étaient fortement aspergés par les eaux s'échappant du banc d'appuis et les murs de raccordement s'étaient détachés des culées. Le revêtement présentait des tassements dans les zones de remblayage et des dalles de transition manquaient. La bordure de la chaussée côté « Romeo » ainsi que la bande médiane étaient en mauvais état et le joint de travail dans la dalle du pont laissait passer l'eau. Enfin, l'eau pénétrait également dans les appareils d'appui, de ce fait fortement corrodés et ne remplissant plus que partiellement leur fonction.

Remise en état

La remise en état a porté sur le renforcement des murs des culées,

l'amélioration des détails de construction assortie d'une modification du système porteur, ainsi que sur le remplacement des pièces d'usure.

487

Nouveau système statique

Aux culées, une couche de béton d'une épaisseur de 40 cm a été ajoutée aux parois; elle est armée et adhère au béton existant. La dalle de roulement a été solidarisée avec les murs renforcés et, aux deux côtés du passage, prolongée au-delà des parois des culées.

Ce nouveau système porteur correspond à un cadre symétrique à deux articulations, avec des portées-à-faux appuyés de façon élastique aux angles du cadre. La stabilité d'ensemble se trouve ainsi restaurée, la sécurité de la structure accrue et l'aptitude au service améliorée, tout en éliminant les joints entre culées et dalle, ainsi que l'ensemble des dispositifs d'appui.

Remplacement des pièces d'usure

La bordure de la chaussée « Romeo » a été remplacée en concordance avec les nouveaux couronnements des murs de soutènement et la dalle de roulement reprofilée sur toute la surface. Le nouveau système d'étanchéité, couche de protection et bordure comprises, est quant à lui calqué sur la solution appliquée au pont de Felli.

La bande médiane de la chaussée courante est posée en continu sur la couche de protection, tout comme les couches d'égalisation et de couverture du revêtement.

Exécution

Les travaux de renforcement des culées ont pu être exécutés sans restrictions de trafic en été et en automne 1995 déjà.

La démolition de la dalle de roulement dans les zones d'appui et le démontage des anciens appareils ont dû être effectués par étapes en fonction de la largeur des voies. Enfin, la permanence du trafic de chantier a été assurée par l'installation d'un pont provisoire de 20 m de long.