

Lot d'ouvrage 1: les ponts

Autor(en): **Vögeli, Rudolf / Moretti, Hugo / Schmid, Manuel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

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

Heft 25

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79421>

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.

l'appui des experts mandatés et des spécialistes en génie civil employés par l'Office cantonal. Quant à l'Office fédéral des routes (OFR), organe de surveillance de la Confédération, il exerce son contrôle tout en participant activement au développement des projets.

Programme des travaux et gestion du trafic

En principe, la remise en état est programmée sur une année, qui débute en juillet (i) et se termine à fin juin de l'année suivante (i + 1). La libre circulation est maintenue durant les sept premiers mois, les travaux sur les ouvrages pouvant être menés sans perturber le trafic (bloc d'automne). En février de l'année (i + 1), on passe à un trafic bidirectionnel sur une voie durant quatre mois (bloc du printemps). Les usagers doivent être guidés en toute sécurité par des chicanes de signalisation et les expériences accumulées (aucune collision frontale) montrent que le dispositif mis en place est bien compris.

Coût de la remise en état

Les coûts d'investissement détaillés ci-dessous (base de prix 1995) comprennent les dépenses pour le relevé de l'état, la conception et la planification des mesures de réfection à engager, les expertises, les travaux de construction et leur direction, ainsi que les coûts d'organisation (coûts auxiliaires) du maître de l'ouvrage.

<i>Lot d'ouvrage 1 : ponts</i>	<i>36,2 mio.</i>
Pont sur la Reuss à Felli	16,2 mio.
Viaduc à flanc de coteau de Gurtellen	11,4 mio.
Pont sur la Reuss à Wassen	7,1 mio.
Protection contre les crues du pont sur la Reuss à Felli	1,5 mio.
 <i>Lot d'ouvrage 2 : galeries, ouvrages d'art</i>	 <i>49,8 mio.</i>
Galerie Gütli et autres ouvrages d'art	13,0 mio.
Galerie Wilerplanggen et autres ouvrages d'art	13,3 mio.
Galerie Ripplistal et autres ouvrages d'art	13,3 mio.
Galerie Pfaffensprung et autres ouvrages d'art	10,2 mio.
 <i>Lot d'ouvrage 3 : équipements routiers</i>	 <i>38,0 mio.</i>
3.1 Chaussées courantes	
Conduite transitoire, drainages, revêtements	24,7 mio.
Constructions pour éléments électromécaniques	2,5 mio.
3.2 Installations électromécaniques	2,6 mio.
3.3 Mesures de protection contre le bruit	2,7 mio.
3.4 Dispositifs contre les dangers naturels	5,5 mio.
 <i>Total des investissements</i>	 <i>124,0 mio.</i>

Ces coûts se répartissent sur les années 1995 à 1998, avec un pic d'investissements de 56 millions de francs en 1997. Ramenée au coût par kilomètre, la remise en état totale des 6 km de la section d'autoroute Meitschligen-Wassen se monte ainsi à 20,7 millions de francs.

Pendant les mois de mars, avril et mai, tous les travaux de construction doivent être exécutés, à l'exception des revêtements qui seront réalisés au mois de juin sur les ponts et tronçons ouverts. La coordination de l'ensemble des travaux constitue un exercice extrêmement exigeant. Ainsi, en 1997, la remise

en état de la voie « Lora » (direction Lucerne), a réuni neuf consortiums travaillant en ligne pour les groupes 3b et 3c. Cela implique que sur chaque chantier – pont, galerie ou chaussée – le trafic devait être assuré pour les huit autres consortiums par une voie de chantier demeurant ouverte en tout temps.

Lot d'ouvrage 1: les ponts

Par Rudolf Vögeli,
Hugo Moretti et
Manuel Schmid,
Effretikon

L'état des ouvrages avant l'intervention, ainsi que les objectifs assignés à leur réfection sont traités ici à l'exemple de divers ponts représentatifs de l'ensemble des ouvrages d'art inclus dans les groupes 3b et 3c.

En tout, trois ouvrages seront abordés dans cet article: l'ouvrage 407 (pont sur la Reuss à Felli), l'ouvrage 409 (viaduc à flanc de coteau de Gurtellen) et l'ouvrage 412 (pont sur la Reuss à Wassen). Une courte introduction est consacrée à chacun d'eux.

Pont sur la Reuss à Felli

De cet exemple, nous détaillerons plus particulièrement les mesures de maintenance des appuis aux extrémités, les renforcements des poutres longitudinales, ainsi que l'étanchéité et le revêtement appliqués au pont.

Il s'agit en fait de ponts jumeaux à quatre travées, qui enjambent

deux fois la Reuss avec une portée maximale de 90 m à une hauteur maximale de 40 m environ. Dans la partie sud, ils passent encore au dessus de la route cantonale (hauteur libre minimale de 5,40 m). Sur le flanc droit de la vallée, la culée Nord s'appuie sur une corniche rocheuse relativement abrupte, tandis que les culées Sud sont implantées de manière décalée, sur un sol rocheux également. Les piles septentrionales et médianes du pont reposent sur la rive gauche de la vallée et seule la paire de piles méridionale est située immédiatement à droite de la Reuss (fig. 1 et 2).

Caractéristiques de l'ouvrage

De sections identiques et d'une largeur de 10,07 m, les tabliers sont constitués de poutres en double T, d'une hauteur constante de 3,60 m pour une largeur d'âme de 60 cm, et de dalles de roulement de 20 à 30 cm d'épaisseur. Les bordures sont des cornières de 0,56 m de large, bétonnées ultérieurement. Dans les zones des piles, se trouvent des dalles de compression de 25, resp. 40 cm d'épaisseur et de 10 à 12 m de longueur. Dans les travées et les zones d'appui, ce sont des entretoises de 0,50 m, resp. 1,20 m, dont la partie supérieure est solidement liée au tablier par des goussets. Quant à l'écart entre les ponts jumeaux, il est d'environ un mètre.



Fig. 1. – Partie sud du pont enjambant la Reuss

Calculés et dimensionnés selon les normes SIA 160 et 162 (1956), les ponts sont totalement précontraints dans le sens longitudinal.

Relevé de l'état

Trois phases de diagnostic ont été menées: une inspection principale en 1988, un examen de l'état en 1992-93 avec prise d'échantillons et mesures, et un complément d'examen en 1993.

Evaluation de l'état

Les examens effectués ont livré les conclusions suivantes quant à l'état de l'ouvrage.

– La sécurité de la structure n'est plus assurée aux extrémités des

poutres et l'ouvrage lui-même se trouve menacé.

– La résistance à l'effort tranchant des poutres longitudinales au droit des piles n'est pas conforme aux exigences définies dans les normes SIA 160/162 (1989).

– La corrosion des armatures dans les encoches cachetées de la dalle de roulement peut à moyen terme affecter localement la sécurité de l'ouvrage.

– Un risque de dégradation des armatures supérieures des bordures existe à moyen terme.

– Les appuis aux culées sont partiellement hors d'usage et, pour

le pont de la voie « Romeo », fortement excentriques. La marge de jeu restante s'avère toutefois encore suffisante.

– Les têtes de console sont en mauvais état.

– La durée d'utilisation du revêtement soumis à une perte de substance progressive n'est plus que de quelques années.

– Toutes les galeries de visite ainsi que les parois des culées Sud présentent un taux de chlorures et une corrosion des armatures très importants.

Objectifs de la remise en état

La remise en état de l'ouvrage doit obéir aux objectifs suivants.

– Etablissement de la sécurité de la structure conformément aux normes SIA 160/162 (1989). Le pont sur la Reuss à Felli étant un ouvrage important de la route A2 Amsteg-Göschenen, le maître de l'ouvrage a en effet décidé d'établir, dans le cadre de la remise en état, une sécurité structurale conforme aux normes actuelles.

– Garantie d'une nouvelle durée d'utilisation libre d'interventions pendant 50 ans, soit d'une durée globale de 75 ans, avec entretien normal et remplacement du revêtement dans le cadre habituel.

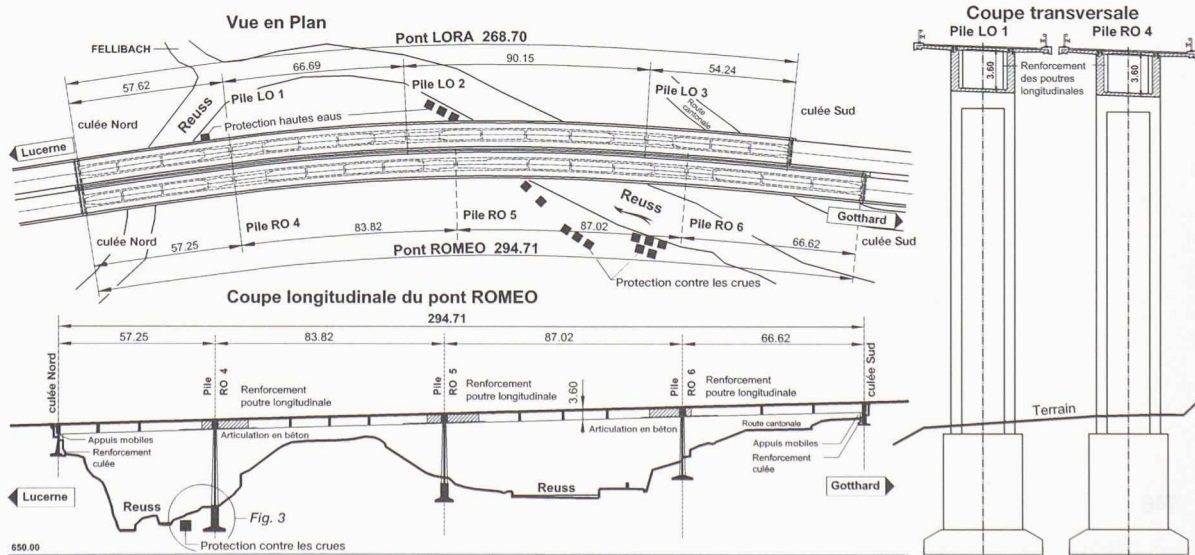


Fig. 2. – Plan général de l'ouvrage

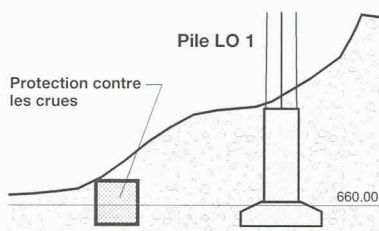


Fig. 3. - Protection contre les crues au voisinage des piles LO 1 et RO 4

- Perte de sécurité acceptable de l'ordre de 10 %, à la fin de la durée d'utilisation prévue, c'est-à-dire $\gamma_R \cdot S_d < 0,9 R$.
- Perte de substance à la fin de la durée d'utilisation prévue sans conséquences importantes pour une nouvelle remise en état (réparations de surface seulement, et petit nombre de renforcements d'armature locaux).
- Exécution de travaux complémentaires imposés par la loi, en particulier pour l'évacuation des eaux.
- Exécution de travaux complémentaires pour l'exploitation (conduites auxiliaires).
- Perturbations du trafic réduites à un strict minimum durant la remise en état.
- Echelons de priorité (mesures M1 à M3) à respecter pour la remise en état:
 - échelon 1 (M 1) travaux déterminants pour la sécurité (exécution: 1994)
 - échelon 2 (M 2) travaux de maintenance de la substance (exécution: 1996/98)
 - échelon 3 (M 3) travaux souhaitables, à combiner avec M2 si cela s'avère favorable au niveau des coûts.

Analyse statique des extrémités de la structure

Aux abouts de l'ouvrage (culée Nord), l'inspection a mis en évidence des fissures dont l'ouverture va jusqu'à 1,3 mm, au voisinage des appuis (fig.4). Quant aux extrémités des poutres, d'une hauteur de 3,60 m, elles présentent un porte-à-faux de 0,60 m à cet endroit. Or, comme le montre une modélisation en treillis, l'armature

Situation lors du relevé de l'état

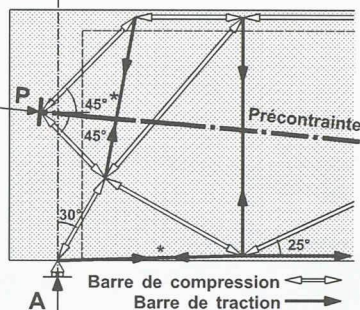


Fig 5. - Modélisation en treillis

de 4 \varnothing 18 mm par âme ne suffit pas à introduire correctement les réactions d'appui et celles-ci ne peuvent pas être transmises par des plaques d'ancrage, étant donné que les câbles de précontrainte sont injectés. A l'extrémité des poutres, la sécurité de la structure n'est donc plus suffisante.

Les fondations de la culée Nord présentent par ailleurs une résistance insuffisante aux efforts tranchants, tout comme celles de la culée Sud, où s'ajoute encore une insuffisance de la résistance à la flexion.

Appareils d'appui

L'examen a révélé que l'appui glissant à rotule de la culée Nord (voie « Lora ») était entièrement rouillé sur la face interne et hors d'état de remplir sa fonction. Les autres dispositifs d'appui sont plus ou moins fortement attaqués par la rouille aussi et tous doivent être remplacés.

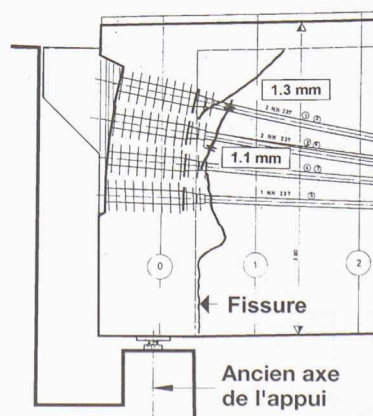
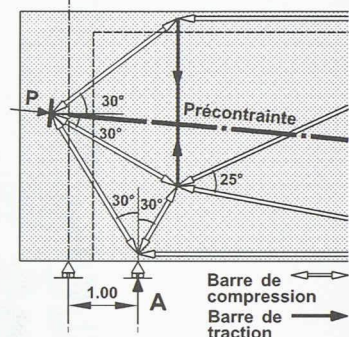


Fig. 4. - Fissures dans les poutres longitudinales

Situation après remise en état



Culée Sud

Un défaut d'étanchéité des joints de chaussées, ainsi que l'exposition aux projections humides venant de la route cantonale pour les éléments de l'ouvrage situés de ce côté-là sont la cause du très fort taux de chlorures relevé dans la paroi de cette culée, où l'enrobage moyen de l'armature se monte à 30 mm \pm 4 mm.

La relative faiblesse de cet enrobage a permis la destruction de la couche passive de l'armature par les chlorures libérés dans le béton. Avec l'humidité régnante, toutes les conditions étaient donc réunies pour la corrosion des armatures, comme le confirment sans équivoque les points attaqués sur la paroi de la culée « Lora » (degré de corrosion 3 à 4: armature rouillée à très rouillée avec peu de perte de matière).

Interventions

Culée Nord

Pour rétablir la sécurité de la structure aux extrémités, les appuis ont été déplacés d'un mètre vers le centre. La membrure inférieure de la poutre longitudinale se trouve ainsi comprimée et les étriers en place s'avèrent alors suffisants selon la norme SIA 162 (1989), si bien qu'aucune autre mesure de renforcement n'a dû être prise pour les poutres longitudinales. Cela étant, le déplacement des appuis a cependant nécessité le bétonnage de nervures complémentaires, ainsi qu'un renforcement de la fondation (fig. 6).

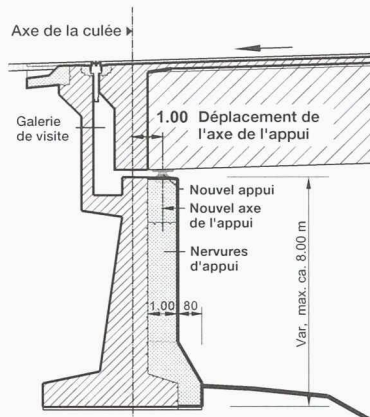


Fig. 6. - Interventions sur la culée Nord

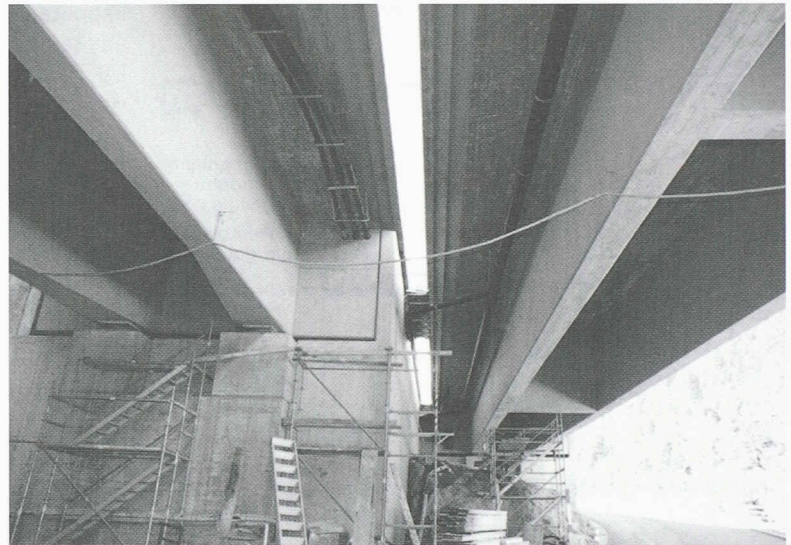


Fig. 7. - Nervures d'appui. Culée Sud du pont «Lora»

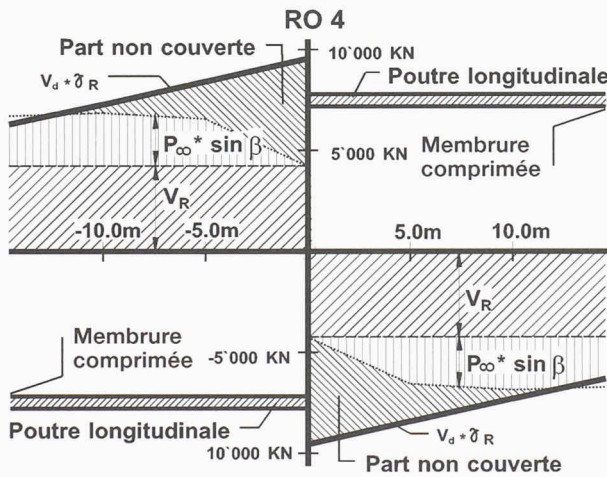


Fig. 8. - Diagramme de l'effort tranchant

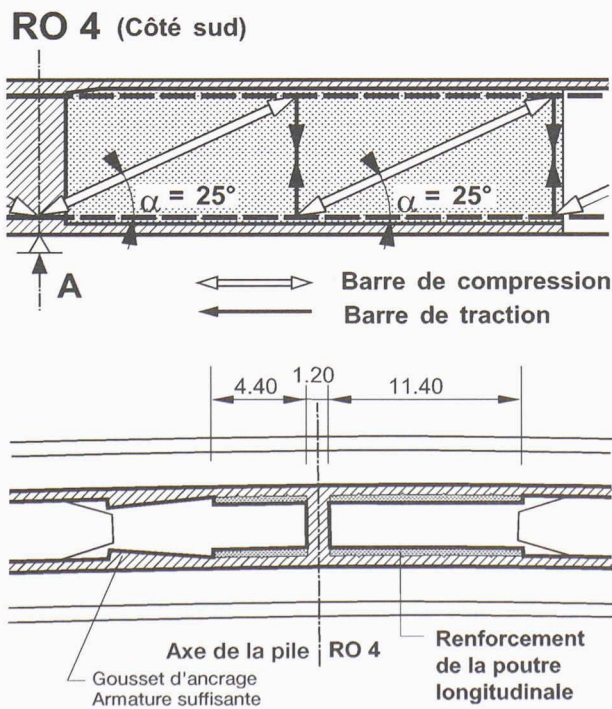


Fig. 9. - Modèle en treillis et zones de renforcement de la pile RO 4

Culée Sud
 Les interventions décrites pour la culée Nord durent également être appliquées au mur de la culée Sud («Romeo» et «Lora»). En outre, sur toute la paroi avant de la culée, un enlèvement de béton jusqu'à 2 cm de l'armature existante s'imposait afin d'enlever le béton contenant trop de chlorures, un travail qui fut exécuté en cinq étapes pour des raisons de comportement statique. Une fois la remise en état des culées achevée et pour mieux protéger l'ouvrage des projections venant de la route cantonale, un scellement a encore été apposé aux parois de la culée Sud (fig. 7).

Renforcement des poutres longitudinales

De l'examen statique du tablier, et par rapport aux normes SIA 160 (1989), SIA 162 (1993) et à la directive SIA 462, il ressort que les étriers existants ne sont pas en mesure d'assurer la sécurité requise vis-à-vis de l'effort tranchant.

C'est en particulier le cas dans dix des douze zones déterminantes au voisinage des appuis des poutres longitudinales - aucun renforcement n'étant nécessaire dans les deux autres zones, car l'armature s'y trouve consolidée par l'allonge

des câbles de précontrainte. Pour le reste, c'est surtout au droit de la pile LO 2, où la sécurité n'atteignait que 60 % de la valeur nécessaire, que les étriers durent être renforcés de 120 %. Au voisinage des ancrages intermédiaires, les armatures existantes, nécessaires pour la diffusion de la précontrainte, ont été prises en considération.

Pour tirer pleinement parti des réserves de capacité portante selon la nouvelle norme SIA 162 (1993), les vérifications furent effectuées de concert avec l'expert en adoptant une inclinaison des billes de 25 % (fig. 8 et 9).

Interventions

Les renforcements des poutres principales sont constitués d'une couche de béton de 30 cm d'épaisseur, appliquée sur la face intérieure des âmes. Ces couches ont été armées par les étriers manquants et reliées aux âmes par de solides goujons.

Exécution

Les renforcements des poutres longitudinales furent exécutés en 1994 dans le cadre de l'intervention «M1, réduite», le trafic ne devant à aucun moment être limité sur le pont durant les travaux. Si l'on a tout d'abord envisagé

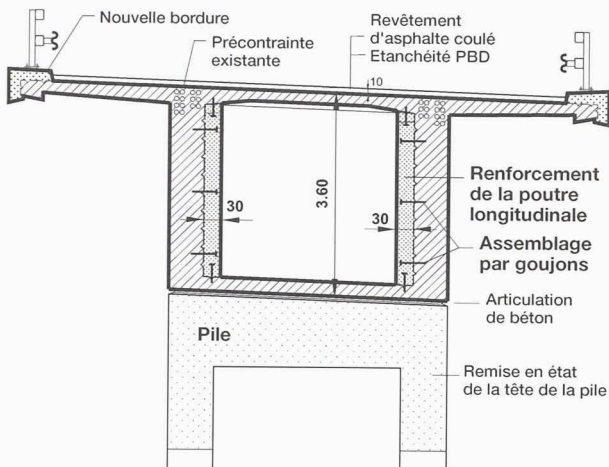


Fig. 10. - Renforcement au voisinage d'une poutre longitudinale

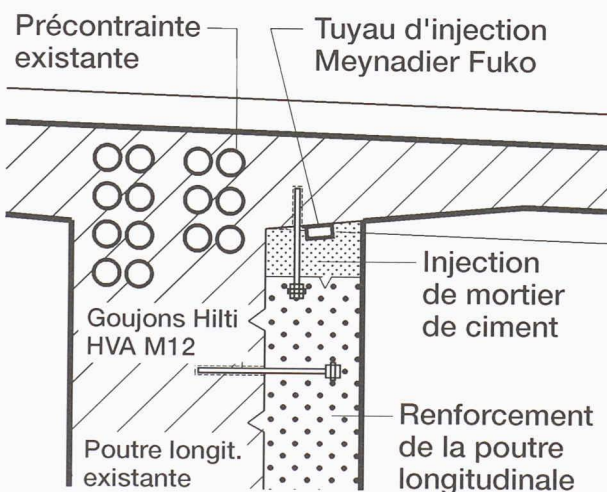


Fig. 11. - Renforcement d'une poutre longitudinale et liaison avec la dalle de roulement

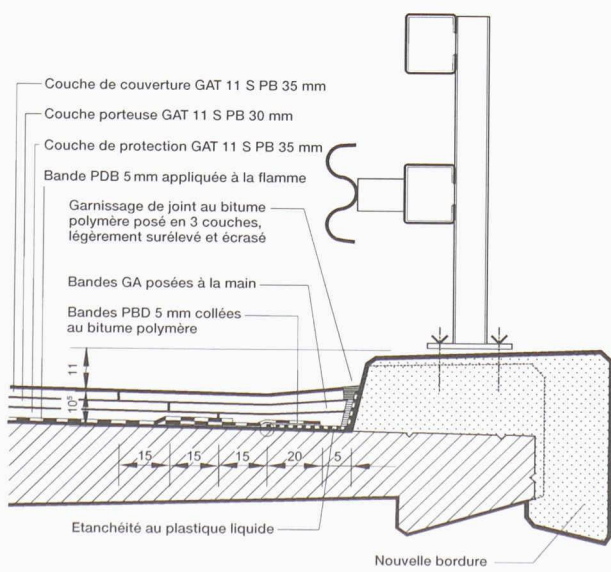


Fig. 12. - Revêtement et étanchéité au bord du pont

l'application du traitement décrit aux seules zones critiques (RO 5 et LO 2), la réception d'offres très favorables a toutefois plaidé en faveur du renforcement de l'ensemble des poutres longitudinales. Pour l'accès aux différents chantiers locaux, un échafaudage dut être monté sous forme de charpente suspendue accrochée entre les deux ponts jumeaux et soutenue par des traverses fixées aux têtes de console. Au droit des piliers, des échafaudages supplémentaires furent installés pour livrer accès aux caissons du tablier et les travaux de renforcement (râpage hydraulique, pose de goujons et d'armatures, coffrage et bétonnage) se déroulèrent sans problèmes particuliers.

La liaison entre le renforcement des poutres longitudinales et la dalle supérieure a, en revanche, exigé une attention particulière, mais des forages de contrôle exécutés ultérieurement sur le tablier du pont « Romeo » ont confirmé le bien-fondé de la méthode utilisée (fig. 11).

Etanchéité et revêtement

Sur le tronçon Meitschligen-Gurtellen, le système de revêtement ci-dessous a été choisi (fig. 12).

- Etanchement dans les parties routières: bandes PDB de 5 mm avec éléments d'insertion, normalement appliquées à la flamme sur la surface de béton nettoyée au jet de billes.

- Etanchement dans les zones en bordure: application de plastique liquide étendu aux têtes de console sur une surface de béton nettoyée au jet de sable, puis application de bandes PDB collées à l'aide d'un bitume chauffé, modifié par polymérisation.

- Couverture en asphalte coulé, appliquée en trois couches sur une épaisseur globale moyenne de 100 mm et constituée d'une couche protectrice de 35 mm, d'une couche d'égalisation de 30 mm et d'une couche de couverture de 35 mm.

A la différence de l'asphalte comprimé, l'asphalte coulé se caractérise par une structure minérale dense - composée de gravillons, de sable, et de matériau de remplissage - entièrement remplie de bitume et, de ce fait, pratiquement dénuée de vides et donc étanche. Aux températures d'étalement de 220-230°C, l'asphalte coulé se prête, comme son nom l'indique, au coulage, après quoi il peut être étalé et il se passe de tout traitement de compactage ultérieur. Ainsi, une fois achevé le coulage de la couche de couverture et après refroidissement, le pont se trouve doté d'un revêtement compact, résistant aux effets du trafic.

L'asphalte coulé avait à répondre à des exigences particulières, notamment de résistance à la déformation en été (route montante, véhicules lourds) et à la fissuration en hiver (mauvais temps, rudesse du climat, contraintes dues aux variations de température). Les exigences contradictoires imposées à cet asphalte par temps chaud ou froid obligèrent à mettre sur pied une recherche d'optimisation inédite pour sa formulation. Par des interventions sur sa composition (teneur en liants, granulométrie, utilisation de bitume polymère modifié, ajout d'asphalte naturelle), le matériau a donc été adapté de manière ciblée aux besoins spécifiques découlant du trafic et des conditions atmosphériques.

Pour contrôler son aptitude à remplir les fonctions énumérées, un nouveau type d'examen a également été élaboré en complément aux méthodes de test standards. On a ainsi procédé à des essais dynamiques de pénétration avec une estampille plane pour contrôler la résistance à la déformation à chaud de cet asphalte coulé, suivis d'essais de refroidissement pour en vérifier la flexibilité et le comportement vis-à-vis de la fissuration à basse température. Mis au point et effectués par un institut d'essais

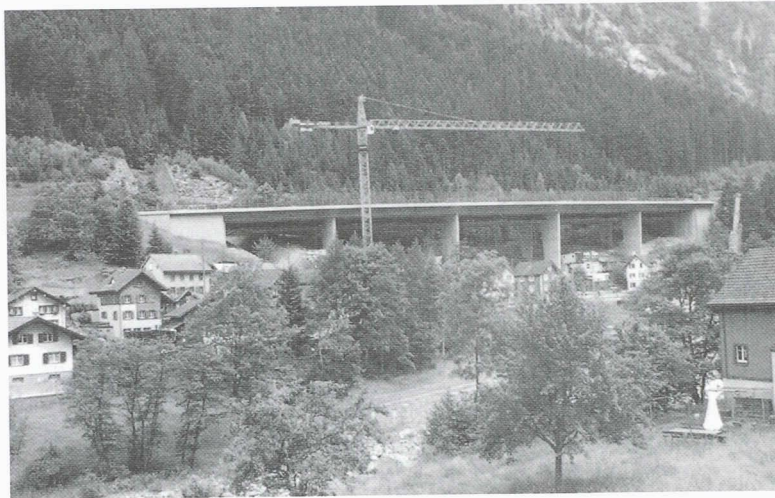


Fig. 13. - Vue générale du pont

des matériaux, ces examens d'un nouveau genre ont abouti à une amélioration décisive de la qualité de l'asphalte coulé et, partant, à une protection durable des ouvrages soumis aux intempéries.

Exécution

La conception du calfatage de la chaussée, le mode d'étanchement des bordures, ainsi que l'emploi d'asphalte coulé correspondent en principe au mode d'exécution déjà choisi en 1991-1993 pour le tronçon Amsteg-Meitschlingen.

Les travaux de remise en état des chaussées ont imposé l'installation d'une demi tente de protection, dont le gabarit autorisait le passage de la machine à asphalter pour le coulage des couches de protection et d'égalisation. Le groupement d'entreprises responsable du lot Fellibrücke proposa et élaborait une tente de protection d'un nouveau genre, couvrant toute la largeur de la route et toute la longueur du pont.

L'étanchéité en plastique liquide pour les bordures de pont, ainsi que les bandes PBD et la couche de protection en asphalte coulé

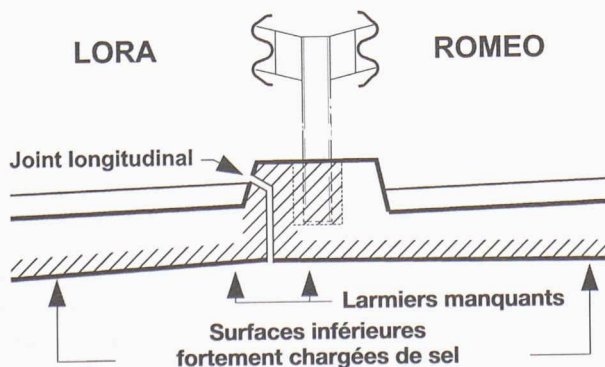


Fig. 14. - Conception du joint longitudinal

furent réalisés en deux étapes. Toujours sous la tente de protection, les couches d'égalisation et de couverture furent coulées sur toute la largeur en un jour chacune. Exception faite des quelques jours nécessaires à la réalisation de ces couches, le trafic de chantier devait demeurer assuré.

Conformément au contrat d'entreprise, les travaux d'étanchement et de revêtement furent surveillés par l'entrepreneur sous-traitant, tandis que la direction des travaux procédait aux vérifications prescrites dans le plan de contrôle. Tous les produits utilisés ont été contrôlés et des échantillons ont systématiquement été prélevés comme éprouvettes de contrôle partout où l'asphalte avait été coulé. Les résultats ont montré que la corrélation entre la profondeur de pénétration statique et dynamique dépendait de divers paramètres.

Viaduc à flanc de coteau de Gurtellen 449

Sur cet ouvrage, un défaut de conception est à l'origine de la lourde charge de sel accumulée sur les faces inférieures des consoles centrales. Des examens complémentaires et une évaluation des risques ont toutefois abouti à la conclusion qu'un enlèvement du béton chargé de chlorures n'était pas nécessaire.

Les ponts jumeaux (fig. 13) n'étaient séparés que par un joint longitudinal de 2 cm de large, qui n'était pas étanche et ce, probablement, depuis sa mise en service. De plus, des larmiers manquaient au milieu de la face inférieure des consoles (« LO: Lora » et « RO: Romeo »), de sorte que l'eau (salée) pénétrant au travers du joint longitudinal atteignait largement la face inférieure des dalles, entraînant une importante pénétration du béton par des chlorures (fig. 14 et 15).

Or si toutes les inspections et mesures essentielles (recouvrement des armatures, échantillons de chlorures, mesures potentielles, marteau piqueur) ont bien été entreprises lors du relevé de l'état des ouvrages, ces mesures spécifiques sont en revanche demeurées insuffisamment corrélées, et c'est notamment pour cette raison

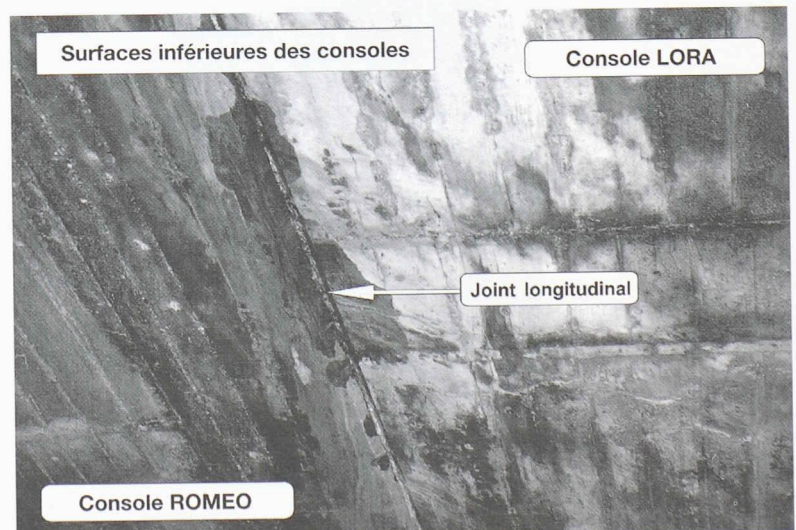


Fig. 15. - Vue des consoles par en dessous

qu'aucune évaluation détaillée de l'état de corrosion effectif de l'armature inférieure n'a pu être présentée. Une évaluation complémentaire de l'état de l'ouvrage n'a donc été recommandée par l'expert qu'après le montage des échafaudages, alors que le projet de réfection prévoyait un enlèvement du béton chargé de sel et un reprofilage avec du béton projeté. Durant la phase de soumission et en accord avec le maître d'ouvrage, il fut toutefois décidé d'inclure une variante avec protection cathodique contre la corrosion dans l'évaluation du pont « Lora », en lieu et place de l'enlèvement de béton par hydrodémolition et du reprofilage (pour des raisons de conservation de la substance) initialement prévus.

Relevé complémentaire de l'état
 Pour l'exécution, les experts ont proposé un complément d'évaluation réalisé à partir de l'échafaudage de travail ; outre les examens de laboratoire et les mesures de champs de potentiel, ils ont préconisé le percement de fenêtres de visite sur les faces inférieures des dalles.

Evaluation de l'état
 Les compléments de données ainsi obtenus ont confirmé les éléments suivants.

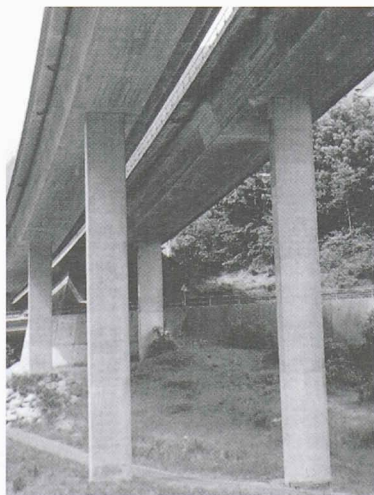


Fig. 17. – Vue des piles de la voie « Lora » (à gauche) et de la voie « Romeo » (à droite)

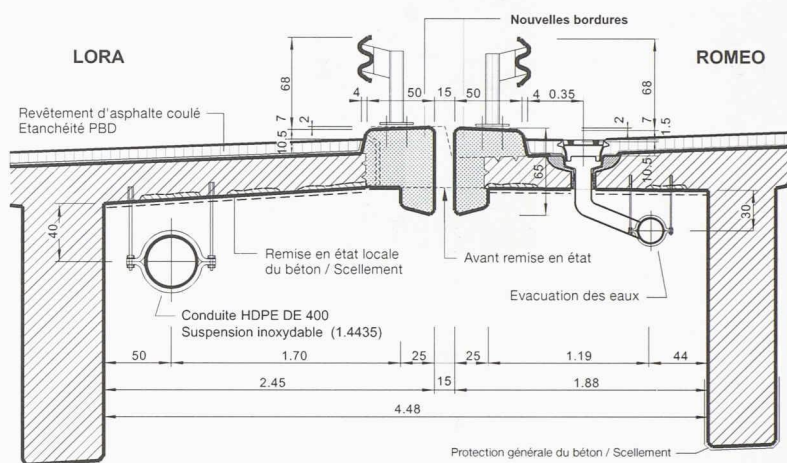


Fig. 16. – Interventions sur les consoles et dans la zone du joint longitudinal

- De manière générale, un taux de chlorures très important a été relevé au niveau de l'armature de la face inférieure des consoles.
- En revanche, et grâce aux fenêtres de sondage, on n'a généralement pas constaté de corrosion sensible de l'armature.
- Avec une moyenne de 40 mm, le recouvrement de l'armature est très important.

Au vu de ce qui précède, il apparaît donc clairement qu'aucun phénomène notable de corrosion n'a eu lieu, car ce ne sont pas les hautes teneurs en chlorures, mais bien l'humidité qui s'est avérée déterminante. Les experts sont donc parvenus à la conclusion qu'on pouvait renoncer à l'enlèvement des parties chargées de chlorures sans risque sensible de corrosion, d'autant que la réalisation des nouvelles têtes de console assureraient désormais le maintien au sec du béton. De plus, l'importance statique de l'armature inférieure des consoles est quoi qu'il en soit secondaire.

Interventions

Sur le pont « Romeo », le remplacement des têtes de console impliquait la démolition d'une bande de 80 cm de largeur, ce qui supprimait du même coup la part de béton la plus chargée en sel. Dans les autres parties des faces inférieures des consoles et comme ex-

pliqué ci-dessus, on a renoncé à enlever le béton chargé de chlorures (fig. 16). Finalement, la remise en état a donc englobé les opérations suivantes :

- élimination des défauts locaux présentant des risques, p. ex. des petits tuyaux d'évacuation d'eau du revêtement ;
- reprofilage des traces de marteau piqueur et des fenêtres de visite, complété par un masticage fin et un scellement local ;
- scellement complet (sans masticage) des surfaces restantes.

Avant l'application complète du scellement (étalement mince), des mesures de potentiel ont été effectuées sur une surface échantillon, qui ont confirmé que les potentiels n'étaient guère influencés par le scellement.

Pont sur la Reuss à Wassen

Sur le pont de Wassen (ouvrage 412), l'évacuation initiale des eaux par simple gravité est à l'origine des dégâts par corrosion constatés en 1994 sur les armatures des quatre piles dans la Reuss.

Description de l'ouvrage

Des ponts jumeaux traversent la Reuss à Wassen à une hauteur d'environ 30 mètres. La longueur de la voie « Romeo » est de 192 m et celle de la voie « Lora » de 232 m. Constitués de caissons creux d'une hauteur constante, les deux ponts sont flottants, leur sys-

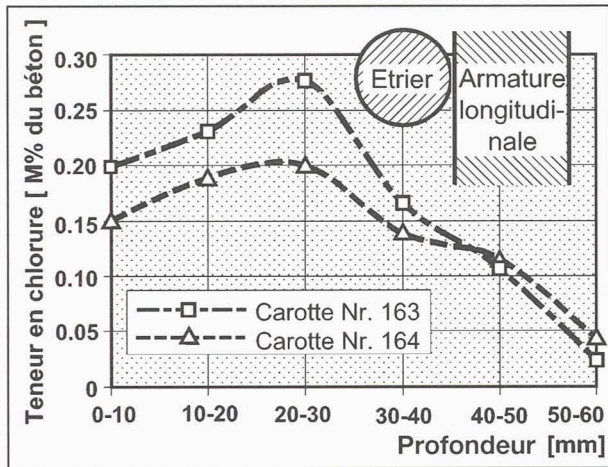


Fig. 18. – Pénétration du chlorure dans le côté sud de la pile RO B (carottages prélevés à quelque 16, respectivement 20 m au-dessous du tablier)

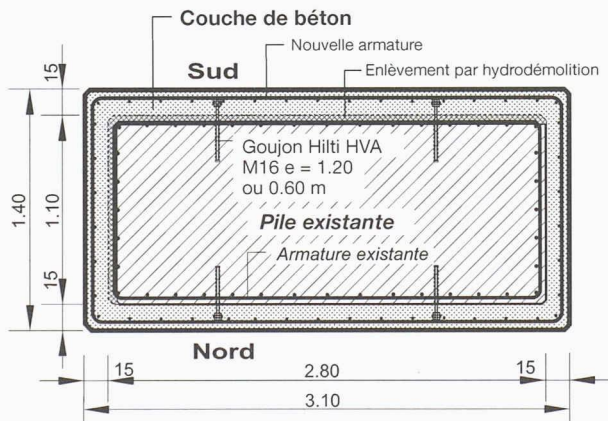


Fig. 19. – Section d'une pile renforcée d'une couche de béton ($d = 15\text{ cm}$)

tème statique étant celui d'une poutre continue.

A la suite des intempéries d'août 1987, suivies des crues dévastatrices qui avaient provoqué l'affaissement du puits de fondation d'une des piles du pont « Lora », l'ouvrage avait été remis en état durant les années 1987 à 1989¹. A cette occasion, les modifications suivantes avaient été apportées aux ponts jumeaux :

- renforcement des dalles inférieures au droit des piles

¹ Voir dans IAS N° 25, du 27 novembre 1991, le dossier de cinquante pages qui avait été consacré aux événements et à la reconstruction de l'ouvrage.

- évacuation des eaux de la chaussée par une conduite longitudinale nouvellement construite
- remise en état du revêtement et de l'étanchéité de la chaussée, ainsi que des bordures (voie « Lora » seulement).

Relevé de l'état des piles, 1994

Les creux découverts en 1993 sur le côté Sud des piles dans la Reuss du pont « Romeo » ont motivé des recherches plus poussées, afin d'en découvrir la cause. Des mesures de potentiel ont ainsi été effectuées en automne 1994 sur les piles exposées au ruissellement des eaux évacuées du pont. On a également procédé à des carottages afin d'examiner la teneur en chlorures du béton et quant à une éventuelle corrosion de l'armature, elle a fait l'objet de contrôles visuels dans des entailles pratiquées au marteau piqueur. Le côté Sud des piles, ainsi que celui précédemment exposé au ruissellement des eaux d'évacuation présentaient de nombreux foyers de corrosion. Au voisinage de l'armature, le béton accusait de très fortes teneurs en chlorures (fig. 18). Quant à l'armature mise à jour au marteau piqueur, elle laissait nettement voir des traces de piqûres de corrosion. Pour assurer la sécurité et la durabilité exigées de l'ouvrage pendant la durée d'utilisation restante, il était donc clair que des interventions s'imposaient.

Interventions, 1997

Dans une première phase, plusieurs variantes de remise en état ont été élaborées, pour faire correspondre les interventions aux objectifs définis par la direction des travaux. Les quatre variantes ci-dessous ont ensuite fait l'objet d'un examen plus poussé :

- enlèvement du béton et reprofilage avec du béton projeté
- enlèvement du béton et renforcement par du béton frais
- protection cathodique contre la corrosion
- élimination des chlorures par voie électro-chimique.

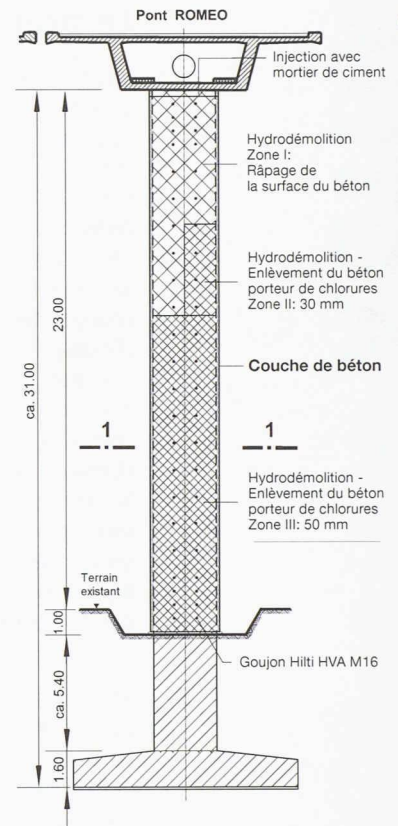


Fig. 20. – Interventions sur la pile RO B, côté sud

Après une évaluation approfondie des avantages et désavantages respectifs des variantes considérées, on a retenu l'enlèvement du béton chargé de chlorures et le renforcement des piles par du béton frais sur toute leur hauteur (fig. 19 et 20).