

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 117 (1991)

Heft: 25

Artikel: La reconstruction et l'assainissement du pont sur la Reuss à Wassen

Autor: Bräm, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77698>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

La reconstruction et l'assainissement du pont sur la Reuss à Wassen

Le principe général pour la reconstruction du pont sur la Reuss à Wassen, endommagé par les intempéries d'août 1987, a été étudié par le professeur C. Menn ; il prévoyait de remplacer la fondation affaissée de la pile J par une

PAR E. BRÄM, ZÜRICH

nouvelle fondation massive venant s'appuyer sur quatre pieux forés, disposés autour de l'ancienne fondation et descendus jusqu'au fond rocheux. Cette nouvelle fondation devait en même temps servir de base à un échafaudage lourd en acier, à monter jusque sous le tablier du pont et destiné à supporter les vérins hydrauliques nécessaires au soulèvement de l'ouvrage. Une fois ce dernier appuyé sur les vérins et l'échafaudage en acier, la pile J devait être coupée au niveau de la nouvelle fondation pour y être ensuite reliée, après le soulèvement du pont. Des calculs préliminaires avaient montré que le soulèvement demanderait une force verticale d'environ 12 000 kN, dont à peu près deux tiers devaient agir à proximité immédiate de la pile J et un tiers réparti sur les deux travées du tablier attenantes aux fissures béantes principales. Les deux âmes de la section en caisson du tablier entraient seules en ligne de compte comme points d'introduction des forces de levage.

Les installations de levage

Conditions préalables

Le concept de reconstruction proposé conduisait essentiellement à prévoir six points d'attaque pour les vérins de levage, à savoir, d'une part à l'intrados du caisson du tablier directement sous les deux âmes, soit près de la pile J, et d'autre part à l'extérieur des fissures principales dans les travées attenantes. Avant d'être en mesure d'étudier et de préparer les installations nécessaires, il convenait de déterminer les déplacements que les points d'attaque des vérins de levage allaient décrire lors de l'opération destinée à ramener le pont dans sa position initiale. Pour cette raison, on dut procéder d'abord à la détermination de la position modifiée de l'intrados du caisson du tablier ainsi que de la pile J, au moyen de méthodes géodésiques. Par comparaison avec les

plans de construction initiaux et en tenant compte de la largeur des fissures et des mouvements longitudinaux vers les joints de dilatation de la chaussée, on a pu tirer les conclusions ci-dessous :

- Près de la pile J, le pont devait être soulevé de 111 cm en moyenne.
- Le tronçon situé entre les fissures principales du caisson du tablier devait pivoter en retour d'environ 3% par rapport à l'axe du pont et se déplacer d'environ 7 cm perpendiculairement au pont et d'environ 3 cm dans le sens longitudinal.
- Les travées du tablier attenantes aux fissures principales devaient également pivoter et se déplacer latéralement, mais dans une mesure moindre que dans la partie centrale. En revanche, leur pente longitudinale devait changer de 3% dans le sens opposé et les déplacements longitudinaux atteindre environ 8 cm jusqu'à la fermeture des fissures béantes.

La figure 1 montre les déplacements prévisionnels déterminés pour chacun des six points d'attaque des vérins de levage. Le déplacement horizontal, le déplacement vertical ainsi que la pente et la ligne de plus grande pente de la position modifiée, sont indiqués à côté de la pente et de la ligne de plus grande pente de la position à rétablir. Ce dessin fait ressortir le fait que chaque point allait se déplacer et pivoter de manière individuelle et différente pendant l'opération de levage ; de plus, il fallait tenir compte de la marge correspondant aux tolérances d'exécution admissibles lors de la construction. Il s'agissait donc de rechercher un système de levage capable de suivre ces déplacements différents sans entraves. Un problème complémentaire était le suivant : à cause de la disposition concentrée des vérins, le procédé habituel aurait provoqué des sollicitations additionnelles dans le tablier affaibli, par certains tassements différentiels inévitables lors de la transmission de la charge sur les cales après chaque étape de levage. Au lieu de prévoir à chaque fois un vérin et une cale correspondante, la solution a consisté à installer des paires de vérins dont l'un effectuait une étape de levage et l'autre reprenait la charge sans aucune modification de hauteur ; on était ainsi prêt pour l'étape de levage suivante.

Vérins de levage

Les vérins de levage choisis ont été les modèles SPE 350 et SPE 200 avec une force respective de 3500 et 2000 kN. Les deux modèles mesurent 75 cm de hauteur et leur course de levage est de 20 cm. Ils se distinguent en outre par le fait qu'ils fonctionnent comme des piles pendulaires, grâce à leur articulation sphérique au pied et à un appui-pot à la tête ; ils étaient ainsi parfaitement à même de suivre les déplacements différents des points d'appui. Conformément à la force de levage nécessaire, il fallait, dans la zone de la pile, quatre vérins du modèle SPE 350 et, dans les travées attenantes, deux fois deux vérins du modèle SPE 200 ; compte tenu du dédoublement mentionné plus haut, seize vérins ont donc été utilisés en tout. Quant à leur positionnement, il y avait lieu d'assurer une accessibilité suffisante et de respecter la position des profilés métalliques sous le tablier faisant partie de la suspension de secours, afin de pouvoir installer au moins un des deux vérins au plus vite dans les zones concernées. Pour éviter les fausses manœuvres, les vérins ont été numérotés en marquant en plus l'une des séries par la lettre A et l'autre par la lettre B (fig. 2).

Cales

Vu le poids considérable des vérins de 776 kg, respectivement 427 kg, il a semblé indiqué de ne pas les placer plus haut après chaque étape au fur et à mesure de la progression du levage, mais de les laisser une fois pour toutes au niveau de l'échafaudage d'appui et de réaliser la compensation de l'augmentation de la dénivellation au moyen de cales placées au-dessus et fixées solidement au caisson du tablier (fig. 3). La fixation au caisson fut réalisée par collage et tampons.

Du fait que les cales se déplaçaient et s'inclinaient légèrement avec le pont à chaque étape de levage, celles-ci furent complétées par un système suspendu formé de deux tronçons de tuyaux à paroi épaisse, usinés en forme de coin et dentelés de façon antisymétrique. Ce système permettait, par rotation réciproque, de réaliser toutes les inclinaisons susceptibles de se présenter. Il était ainsi possible de remettre les cales en position verticale après chaque étape de levage, tandis que les vérins, par ripage latéral, étaient replacés en position exactement verticale au-dessus. Les autres cales étaient constituées de tronçons de tuyau dentelés, mais parallèles ; elles étaient liées les unes aux autres par boulonnage de manière à permettre chaque fois la mise en place de l'élément supplémentaire nécessaire directement au-dessus du vérin.

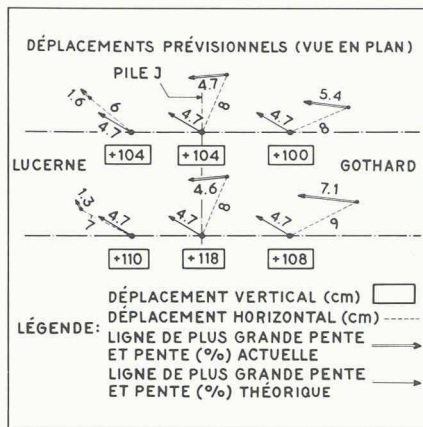


Fig. 1. - Déplacements prévisionnels.

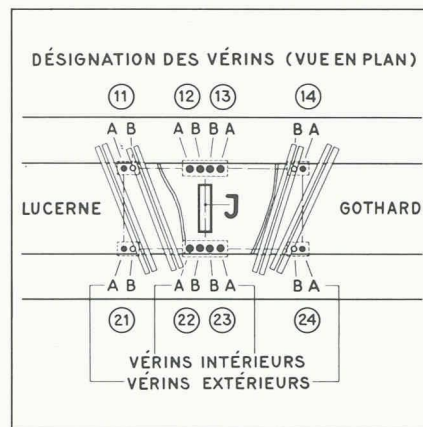


Fig. 2. - Désignation des vérins.

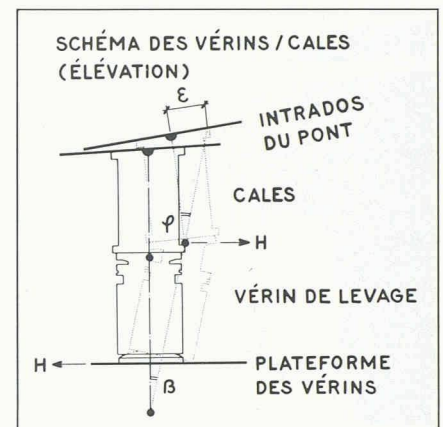


Fig. 4. - Schéma des vérins/cales.

Problèmes de stabilité

Le système décrit ci-dessus, composé de vérins en piles pendulaires et de cales fixées au tablier du pont s'est révélé tout à fait approprié pour résoudre les problèmes de déplacement ; toutefois il présentait aussi certains dangers qui sont montrés schématiquement à la figure 4. Les déplacements et rotations du caisson du tablier et, partant, des cales provoquaient à chaque étape de levage une nouvelle inclinaison des vérins et la formation d'un angle entre ces derniers et les cales. Cela conduisait d'une part à des forces horizontales indésirables sur le pont et l'échafaudage ainsi qu'à des excentricités pour la transmission de la force verticale sur le pont ; d'autre part, il y avait danger de sollicitation exagérée des appuis-pots, voire, en cas extrême, un risque de flambage. Afin de pallier ces dangers, les valeurs critiques, c'est-à-dire l'inclinaison du vérin β , l'angle de déviation φ et l'excentricité ε de chaque vérin furent surveillés au moyen du système de mesure intégré qui sera décrit ci-dessous. De plus, des constructions métalliques furent fixées au caisson pour permettre le contreventement de chaque pile de cales dans n'importe quelle position, de manière à rendre impossible tout flambage.

Afin d'assurer la stabilité d'ensemble, on réalisa en outre des guidages supérieur et inférieur pour la pile J ainsi qu'une fixation longitudinale. Le guidage supérieur au niveau de la plateforme de l'échafaudage était constitué de part et d'autre de la pile par un calage horizontal et un vérin plat hydraulique. Leur appui était réalisé au moyen d'un cadre métallique entourant la pile et fixé à l'échafaudage. En adaptant continuellement le calage horizontal aux déplacements de la pile, tout en laissant ouvert un espace minimal, il était possible de maîtriser immédiatement d'éventuels déplacements horizontaux incontrô-

lés. Les vérins plats servaient à fixer la pile pendant les interruptions de travail.

Le guidage inférieur de la pile ressemblait en principe au guidage supérieur ; dans une première phase il a cependant fallu prendre des mesures particulières pour le découpage de la pile. Etant donné qu'il fallait escompter d'importantes forces horizontales temporaires, le guidage inférieur fut placé dans l'évidement autour de la pile de la nouvelle fondation, de façon à ce que les efforts puissent être directement reportés sur cette dernière.

A titre de fixation longitudinale, on plaça dans chacune des culées deux vérins hydrauliques en position horizontale qui empêchaient un déplacement longitudinal incontrôlé du pont ; quant aux dilatations thermiques inévitables, on en a tenu compte par un dispositif de maintien de la pression hydraulique.

Délais et problèmes pratiques

Délais

Les dispositions fondamentales décrites ci-dessus ont dû être prises en toute hâte afin de pouvoir obtenir à temps les installations nécessaires. Dès le début du mois d'octobre 1987, c'est-à-dire trois semaines après l'adjudication du contrat d'entreprise générale, la géométrie et le schéma des charges pour l'échafaudage lourd avaient été définis, y compris la variation des points d'introduction des forces, cela pour être en mesure de confier le contrat pour les calculs statiques, la conception et la fabrication dudit échafaudage. Au début du mois de novembre 1987, on disposait également des dimensions et des charges de la nouvelle fondation, y compris de l'évidement pour la pile ; avec ces éléments, les études de la statique et la construction pouvaient commencer.

Par la suite, toutes les autres installations furent projetées dans le détail et commandées au fur et à mesure.

Travaux de sauvegarde

Pendant ces préparatifs se déroulaient les premiers travaux de construction. Dès le mois de septembre 1987, avaient débuté les travaux de sauvegarde pour le mur de soutènement de la route cantonale à proximité de la pile J, mur qui avait été affouillé lors de la crue. A l'aide d'une rangée de pieux jettés verticaux et d'une rangée de pieux jettés légèrement inclinés, placés juste devant la fondation du mur, le remblayage de secours réalisé précédemment fut complété et stabilisé. Puis on a effectué le terrassement autour de la pile J dans des matériaux remblayés, parsemés de blocs de pierre et partiellement solidifiés par du béton, afin de créer la plate-forme de forage pour les travaux de pilotage.

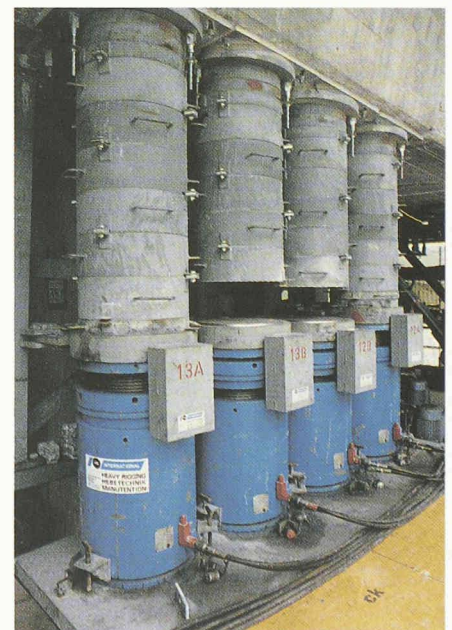


Fig. 3. - Piles de cales.

(Photo L. Buscarlet.)



Fig. 5. – Deux engins en train de forer les pieux.

(Photo A. von Glutz.)

Les travaux de pilotage

L'exécution des quatre pieux forés de 120 cm de diamètre pour la nouvelle fondation, juste à côté de l'ancienne fondation affaissée, a nécessité des soins particuliers. Le sous-sol était composé dans la partie supérieure de matériaux remblayés mélangés à des blocs de pierre et de béton et dans la partie inférieure, d'une moraine naturelle parsemée de gros blocs en granite de l'Aar très dur. Devant le danger d'un nouvel affaissement de la fondation existante, suite à des ébranlements liés au travail de trépanage ou à un foisonnement du terrain environnant, il a fallu choisir un procédé évitant à tout prix des tassements supplémentaires.

On a donc opté pour le procédé de forage rotatif sans tubage. Afin de solidifier le terrain environnant et les parois des trous de forage, on a réalisé pour chaque pieu une couronne de huit pieux jettés atteignant le rocher en place ; les forages pouvaient alors être entrepris à l'intérieur de cette protection. Les engins de forage utilisés ont été deux pelles mécaniques lourdes

équipées d'agréats de forage rotatifs avec outils en métal dur. Le forage s'est révélé extrêmement long et pénible ; les outils accrochaient à tout moment aux blocs entamés, provoquant des sollicitations brusques et endommageant les engins. En travaillant vingt-quatre heures sur vingt-quatre, les quatre pieux forés de 11 m ont quand même pu être terminés en un peu plus de six semaines. Les pieux forés furent reliés, deux par deux, par des poutres-parois massives situées perpendiculairement au pont et servant d'appui à la nouvelle fondation. Il s'est créé ainsi sous la nouvelle fondation un espace de travail qui a servi plus tard au découpage de la pile J juste en dessous, tandis que les zones situées à l'extérieur étaient à nouveau remblayées.

La nouvelle fondation

Quelques problèmes de coffrage et de bétonnage se sont posés pour la réalisation de la nouvelle fondation de 8×12 m et de 3 m de haut. Du fait qu'elle a été bétonnée directement contre le terrain et que l'évidement pour la pile faisait obstacle, il n'était pas possible de lier les coffrages latéraux par des tiges continues. Les poussées de béton élevées furent donc reprises par des barres à traction placées en biais vers le bas ainsi que par une construction métallique fixée dans les poutres-parois déjà mentionnées. Pour éviter des fissures de tassement dans la zone de l'armature supérieure pendant la prise du béton, on a choisi un facteur eau/ciment relativement faible de 0,46, et on a bétonné en deux étapes pendant deux jours consécutifs. Le béton, fluidifié par adjonction de Sikament fut amené à la fondation

depuis la route cantonale située au-dessus, par des tuyaux-glissières en provenance directe des camions-malaxeurs (fig. 6). Malgré le retard dû aux travaux de pilotage, la fondation d'environ 300 m^3 put encore être achevée juste avant Noël 1987.

L'échafaudage en acier et les vérins

Au mois de janvier suivant, on a monté l'échafaudage en acier (fig. 7) et aménagé la plate-forme de travail. A la mi-février, le pont a été pour la première fois vraiment assuré par les vérins mis en place sous le tablier.

Le système de mesure et de surveillance

Les opérations de levage complexes exigeaient la mesure et l'affichage de toutes les forces, mouvements et déformations afin de pouvoir vérifier continuellement si les manœuvres effectuées produisaient l'effet recherché. D'une part, il fallait que les informations les plus importantes, telles que les forces des vérins et les déplacements dans l'espace du pont, soient à portée de la main à l'endroit même où les manœuvres étaient déclenchées, à savoir près des agrégats hydrauliques pour les vérins de levage sur la plate-forme de travail. D'autre part, il fallait saisir, enregistrer et centraliser la surveillance des nombreuses données recueillies. A cette fin, l'on a installé un container transformé en central de mesure et de surveillance à proximité de la pile J.

L'information sur les forces des vérins était assurée de deux manières indépendantes. D'une part, elle se faisait par les manomètres attribués à chaque vérin et placés au-dessus des agrégats hydrauliques, dans le champ visuel direct de l'opérateur (fig. 9). D'autre part, la pression d'huile de chaque vérin était transmise au moyen d'un capteur de pression au central de mesure où la force correspondante était affichée.

Afin de relever les mouvements dans l'espace du pont, on a choisi des profils de mesure situés devant et derrière la pile J ainsi qu'à l'extérieur des fissures principales dans les travées attenantes. Chacun de ces profils de mesure a été équipé des dispositifs décrits ci-après :

- Pour observer la situation en plan, on a placé sur la nouvelle fondation un fil à plomb au laser dont le rayon était dirigé sur une cible munie d'une trame centimétrique et fixée à l'intrados du caisson du tablier. Ainsi, il était possible de lire directement et à tout moment les déplacements transversaux et longitudinaux du pont. L'image produite était saisie par une caméra vidéo et affi-

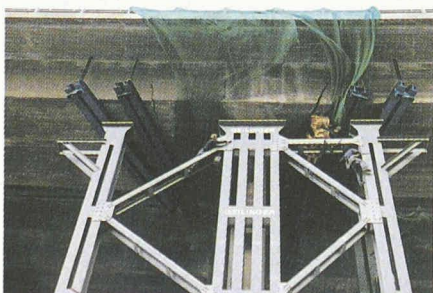


Fig. 7. – Montage de l'échafaudage.

(Photo A. von Glutz.)



Fig. 6. – Bétonnage de la nouvelle fondation.
(Photo R. Kalbermatten.)

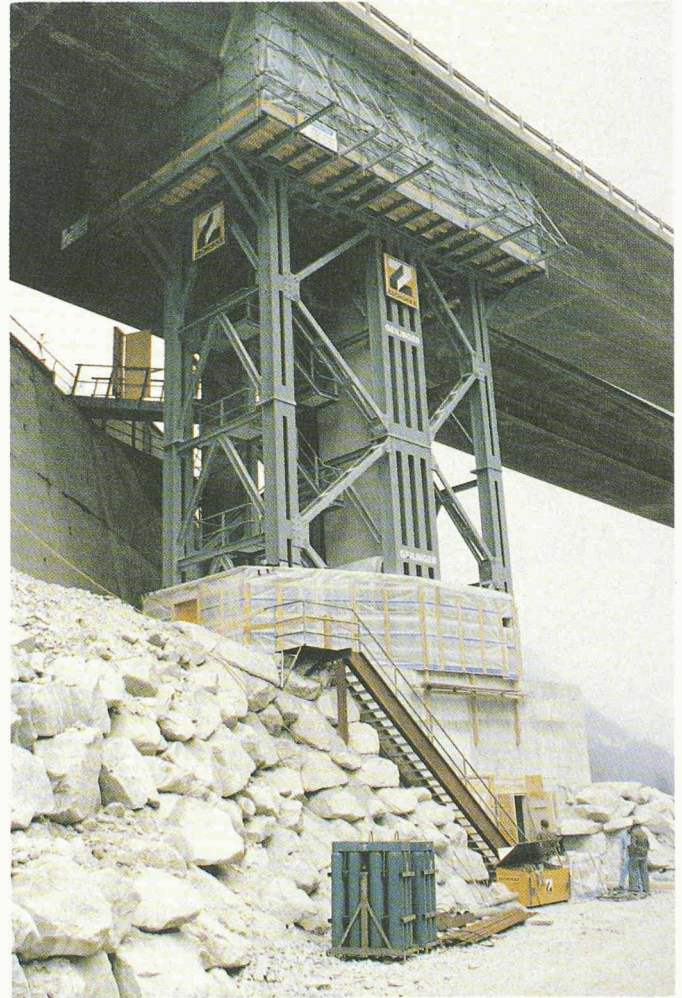


Fig. 8. – Echafaudage métallique terminé avec plate-forme des vérins.
(Photo L. Buscarlet.)

chée sur un écran dans le central de mesure.

- Pour déterminer les variations de hauteur, on s'est servi d'un fil Invar fixé à la fondation et tendu verticalement contre l'intrados du pont par l'intermédiaire d'un câble, de poulies et d'un contrepoids. Un dispositif de mesure de distance y était attaché avec tige de mesure fixée au caisson du tablier. Les variations de hauteur pouvaient en outre être mesurées directement près des vérins de levage.

- Un dispositif de mesure de l'inclinaison transversale fixé à l'intrados du caisson servait à l'observation directe de la pente transversale et, combiné avec les mesures de hauteur précitées et moyennant calculs, à déterminer les cotes d'altitude des points d'attaque des vérins de levage.
- Un dispositif de mesure de l'inclinaison longitudinale fournissait les variations de la pente longitudinale. L'étalonnage des appareils de mesure et l'introduction des valeurs de départ

furent réalisés, pour les forces dans les vérins, à l'aide d'un manomètre de contrôle et pour les autres dispositifs, par comparaison avec les données fournies par le géomètre.

Outre les installations de surveillance les plus importantes citées plus haut, plusieurs autres points de mesure ont été aménagés. Par exemple, on a installé près des fissures principales et des extrémités du pont des dispositifs d'enregistrement des déplacements longitudinaux, des dispositifs similaires pour mouvements verticaux dans

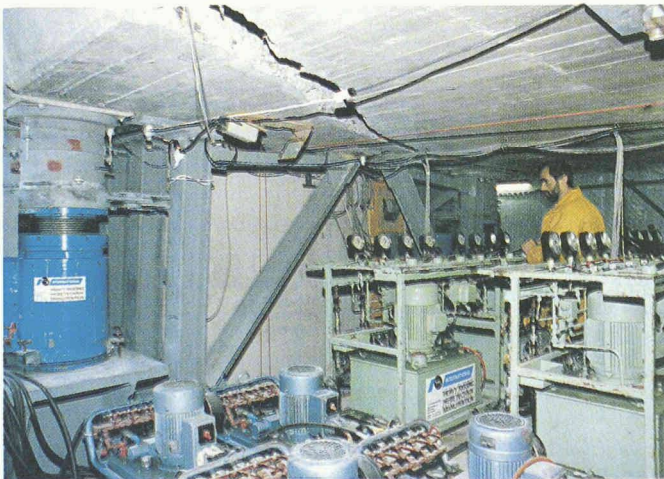


Fig. 9. – Agrégats hydrauliques et fixation horizontale d'un vérin.
(Photo L. Buscarlet.)

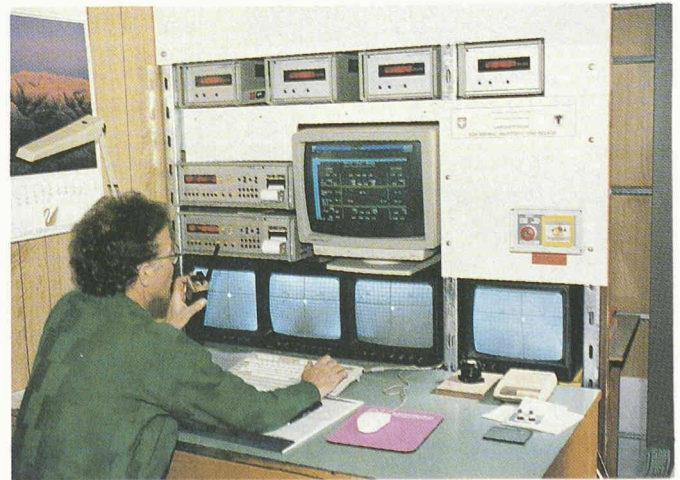


Fig. 10. – Central de mesure.

(Photo L. Buscarlet.)

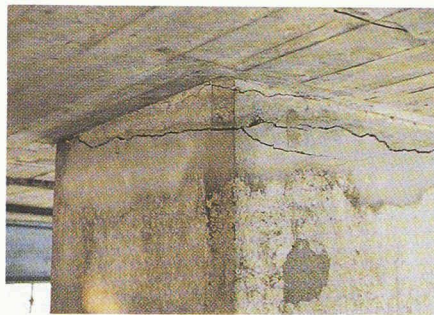


Fig. 11. - Fissures en tête de pilier.
(Photo A. von Glutz.)

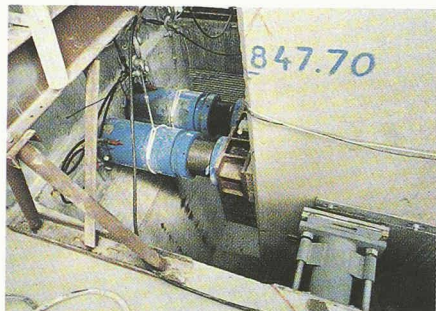


Fig. 12. - Deux vérins hydrauliques pour le guidage inférieur de la pile dans l'évidement de la nouvelle fondation.
(Photo L. Buscarlet.)

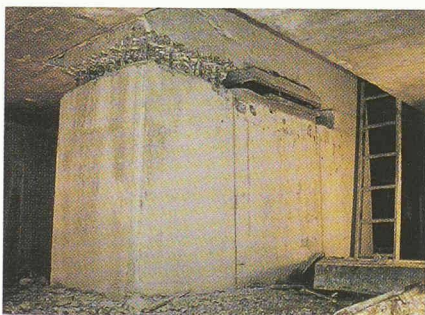


Fig. 13. - Appui glissant dans la pile.
(Photo A. von Glutz.)

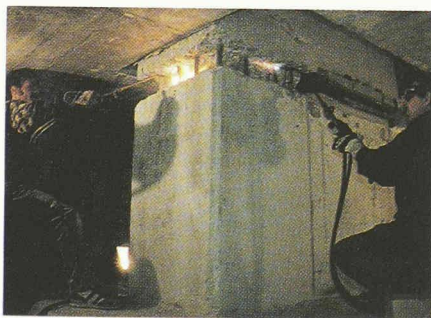


Fig. 14. - Réchauffement et découpage de l'armature de traction.
(Photo A. von Glutz.)

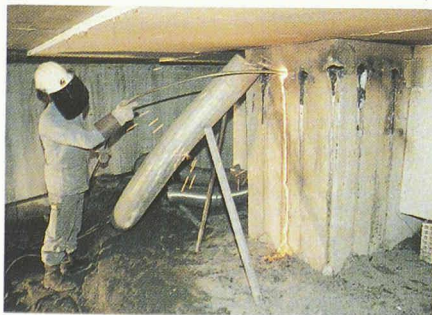


Fig. 15. - Enlèvement de la zone de compression de la pile par mise à fusion.
(Photo L. Buscarlet.)

les travées critiques, et des dispositifs de mesure des contraintes dans la pile J.

Les données saisies électroniquement en quelque 80 points de mesure étaient transmises au central par un réseau de câbles; là, elles étaient reçues par un amplificateur et transmises à un système PC, qui traitait et stockait les données, les affichait sur un écran et les imprimait sur demande. L'affichage et l'impression des données les plus importantes s'effectuaient en présentation graphique conforme à la situation effective, ce qui facilitait grandement la rapidité de l'information (fig. 10). Les seuls éléments à introduire manuellement dans le PC étaient les mouvements horizontaux repris des quatre écrans ainsi que, après chaque réglage des vérins de levage, les hauteurs des piles de cales, cela pour obtenir continuellement les inclinaisons des vérins, les angles de déviation et les excentricités déjà mentionnés.

Comme base du logiciel, on a utilisé un tableur standard. Les intervalles de mesure pouvaient être choisis à volonté et selon la situation donnée; ainsi les mesures continuaient de manière entièrement automatique, même pendant les arrêts de travail. L'installation a fonctionné pendant huit mois sans arrêt et de façon irréprochable, malgré la présence de facteurs perturbateurs non négligeables dus à un poste 15 kV, à l'approvisionnement électrique du chantier et aux travaux de construction en cours.

Le découpage de la pile

A la suite de l'affouillement pendant la crue, la fondation de la pile J avait glissé le long de la pente et s'était ainsi déplacée latéralement d'environ 70 cm et longitudinalement d'environ 15 cm. Il était à craindre que la fondation ne fût affouillée côté aval et ne s'appuyât plus sur le terrain que du côté amont. En conséquence supplémentaire, d'importants moments statiques dans le même sens s'étaient développés à la tête et au pied de la pile, moments qui avaient déjà conduit à une fissuration correspondante dans la pile (fig. 11). Pour compenser ces moments, des forces horizontales correspondantes devaient agir à la tête et au pied de la pile. Il était évident que seule la charge verticale sur la pile, diminuée mais toujours présente, empêchait des dégâts encore plus considérables, par son effet de réduction des contraintes de traction.

Les sollicitations extrêmes présentes dans la pile laissaient prévoir que son découpage serait une opération très délicate. Il s'agissait de trouver une méthode pour diminuer sensiblement les importants moments agissant à la

tête et au pied de la pile, avant de la décharger. De plus, il fallait assurer que des détentes brusques ne puissent pas entraîner des mouvements incontrôlés du pont.

La première mesure a consisté à installer horizontalement à la hauteur du guidage inférieur de la pile deux vérins hydrauliques lourds capables de reprendre l'importante force horizontale qui allait être libérée (fig. 12). On a ensuite entaillé, à la hauteur du découpage prévu et au milieu de la pile, une niche traversante où l'on a placé de manière serrée un appui glissant solide (fig. 13).

Pour le découpage des zones restantes, on a choisi la procédure suivante :

- dans la zone de traction, on a d'abord dégagé les aciers d'armature verticaux sur environ 10 cm; ensuite, tous les aciers ont été chauffés à l'aide de plusieurs chalumeaux jusqu'à incandescence et ainsi amenés à écoulement, ce qui a peu à peu provoqué l'ouverture d'une fente horizontale de 3 mm (fig. 14); après l'arrêt de ce processus, on a complètement coupé les aciers et découpé la zone de traction sur toute la hauteur de la niche;
- pour la zone de compression on a choisi la méthode d'oxycoupage avec lances thermiques. Ce procédé génère des températures d'environ 4000° permettant à l'acier et au béton d'entrer en fusion et donc d'être enlevés. En affaiblissant systématiquement la section résiduelle de la pile depuis les trois côtés accessibles, on a réussi à asseoir la pile sur l'appui glissant sans aucun choc (fig. 15).

Après avoir diminué de cette façon le moment au pied de la pile, on a également pu faire disparaître le moment en tête de celle-ci, en relâchant la force horizontale dans les deux vérins précités et en faisant ensuite glisser le pied de la pile sur l'appui glissant de 11,3 cm au total. De cette manière, on a réussi à détendre la pile sans provoquer de dégâts supplémentaires et on a pu procéder alors à l'opération de levage.

L'opération de levage

Avant le début du levage, les fissures principales béantes ont été élargies de manière à leur permettre de se refermer sans blocage. Par le procédé hydrodynamique, c'est-à-dire au moyen d'un jet d'eau de 2000 bars de pression, on a enlevé 2 à 3 cm du béton aux deux lèvres des fissures et on a coupé au chalumeau les moignons proéminents des aciers d'armature (fig. 16).

Le levage s'est déroulé selon les phases énumérées ci-dessous.

1. Décollement du pont et de la pile J de l'appui glissant.

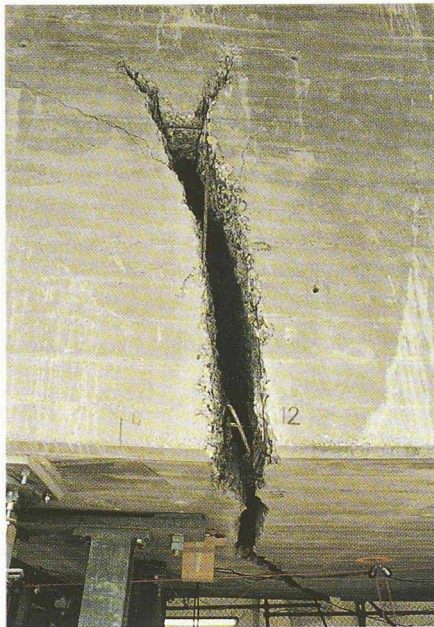


Fig. 16. - Elargissement des fissures principales. (Photo L. Buscarlet.)

2. Soulèvement du pont jusqu'à environ 10 à 20 cm sous la position théorique. Dans cette position il s'agissait de sceller les fissures et de renforcer le pont.
3. Levage ultérieur du pont jusqu'à sa position théorique après scellement des fissures et renforcement. De cette manière, on entendait obtenir que la dalle de compression dans la zone J soit à nouveau comprimée conformément au système statique de la poutre continue.

Phase 1: elle a consisté en une approche subtile par augmentation échelonnée des forces dans les vérins de levage, tout en respectant continuellement la répartition admissible des forces, jusqu'à la libération de l'appui glissant. La charge totale se montait alors à 5700 kN.

Phase 2: pour cette phase, les critères suivants étaient déterminants:

- il s'agissait d'éviter à tout prix que les efforts tranchants dans le tablier

et surtout dans les zones affaiblies par les fissures ne changent de signe; d'autre part, il fallait limiter ces efforts tranchants de manière à empêcher une rupture complète;

- la torsion présente dans le tablier par rapport à son axe longitudinal n'allait pas pouvoir être annulée complètement sans contrainte, en raison du fluage du béton intervenu entre-temps; c'est pourquoi on a décidé d'exercer un moment de torsion correctif sur le tablier, en générant une différence entre les forces de levage des deux côtés du pont.

Afin de pouvoir respecter ces critères de façon optimale, les vérins de levage ont été pilotés comme suit (fig. 17). De chaque côté du pont on a exercé une force permanente P1 et P2, sur le tablier, au moyen des vérins de levage intérieurs (nos 12 et 13, respectivement 22 et 23, à chaque fois A ou B) par le biais de valves hydrauliques de surpression. Ces forces étaient équilibrées de manière à correspondre au poids propre du tablier entre les fissures principales, plus une partie du poids des travées attenantes; à elles seules, elles ne suffisaient pas à déclencher un soulèvement. Le levage ne fut obtenu que par l'action des vérins extérieurs (nos 11, 14, 21, 24) qui avaient à supporter le reste du poids des travées attenantes. De cette manière, il était possible de maintenir continuellement à l'intérieur des valeurs désirées les efforts tranchants dans les zones affaiblies. Ce pilotage a permis d'obtenir un levage régulier et parallèle par l'actionnement de tous les quatre vérins extérieurs (nos 11, 14, 21, 24, A ou B) (cas a). En actionnant les vérins extérieurs d'un côté du pont seulement (nos 11 et 14 ou 21 et 14), on obtenait une rotation du tablier par rapport à son axe longitudinal (cas b), et en n'utilisant que les vérins de part et d'autre de la pile (nos 11 et 21 ou 14 et 24) on pouvait corriger le cas échéant le profil longitudinal du pont (cas c).

Le levage de la deuxième phase a ainsi tout d'abord avancé à un bon rythme, à savoir de 10 à 12 cm par jour. Après chaque étape partielle d'environ 0,5 cm, on ramenait les bagues d'arrêt des vérins de levage afin d'assurer mécaniquement ces derniers de manière à rendre impossible toute défaillance fortuite. A titre de sécurité supplémentaire contre d'éventuelles actions de l'extérieur, on plaçait une pile de sécurité en tôles d'acier entre le pied de la pile et son moignon, cette pile étant complétée journellement (fig. 18). En outre, on faisait en sorte qu'un moment de torsion correctif d'environ 2500 kNm agisse avant toute interruption de travail. Après chaque étape de levage, on permutait sur l'autre série de vérins.

Vers la fin de la phase 2, il a ensuite été

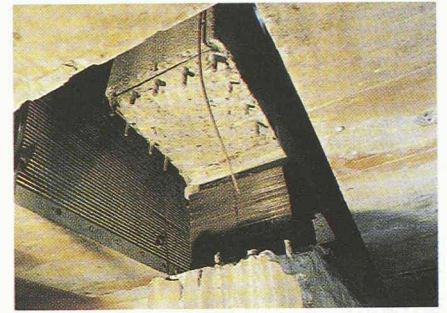


Fig. 18. - Pile de sécurité en tôles d'acier entre pile et moignon de pile. (Photo L. Buscarlet.)

nécessaire de travailler avec énormément de précautions, en raison du danger que les moments sur les piles voisines soient diminués trop fortement, ce qui aurait provoqué des fissures à d'autres endroits. Il a alors fallu s'approcher délicatement de la position encore admissible, en observant minutieusement les zones en danger au moyen de micromètres et de loupes et en limitant le levage journalier à environ 1 cm. La charge totale était passée entre-temps à environ 8800 kN.

Lorsque le souci d'éviter des dégâts a interdit de poursuivre le levage dans cette phase, on a procédé au scellement des fissures principales au moyen d'un béton spécial, et à l'injection de résine synthétique dans les fissures secondaires plus petites. Auparavant, le tablier avait déjà été renforcé près des deux culées par des constructions en béton à l'intérieur du caisson. On a alors procédé à un renforcement analogue dans la zone J et à la mise en œuvre d'une précontrainte supplémentaire placée à l'intérieur du caisson.

Phase 3: la continuité du tablier étant rétablie, on ne s'est plus servi pour le levage ultérieur que des vérins intérieurs (nos 12, 13, 22, 23, A ou B). Dans cette phase aussi, il s'agissait de travailler avec précaution par très petites étapes et en observant continuellement les endroits critiques. Après avoir atteint un soulèvement total de 6,5 cm et une charge totale de 11 000 kN, on a interrompu cette phase afin d'ouvrir le pont de mi-juillet à fin août 1988 au trafic des vacances.

Avant l'ouverture à la circulation sur deux voies, on a procédé à un essai de charge avec six camions de 28 t, qui a donné les résultats attendus. Pendant ce temps, le pont continuait à reposer sur les quatre vérins de levage placés le plus près de l'axe J (nos 12B, 13B, 22B et 23B), bien entendu assurés par les bagues d'arrêt. Après la période principale des vacances, le pont a à nouveau été fermé à la circulation, pour être une nouvelle fois levé de 1,5 cm. Cela a été rendu possible par la propriété typique du béton de pouvoir réduire progressivement et jusqu'à un certain point les contraintes existantes par fluage. Ce

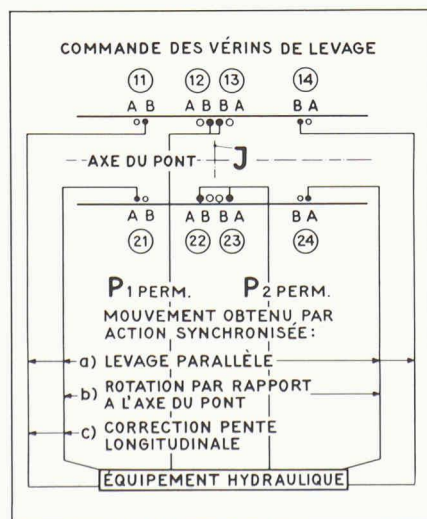


Fig. 17. - Pilotage des vérins de levage.



Fig. 19. – Conduite d'évacuation d'eau et fissures injectées dans la superstructure et la tête de pile. (Photo A. von Glutz.)

phénomène a pu être observé pendant toute l'opération de levage, et particulièrement après des arrêts de travail prolongés. Les limites du possible avaient dès lors été atteintes, bien qu'il manquât encore 13 cm jusqu'à l'altitude initiale et que la pile conservât encore une inclinaison minime. Des divergences sans importance, que ce soit sur le plan visuel ou pour la capacité portante de l'ouvrage.

Le bétonnage de la pile

Après l'achèvement des travaux de levage, le pont fut déplacé longitudinalement d'environ 2 cm au moyen des vérins près des culées, et amené dans sa position médiane.

Ensuite, le guidage inférieur de la pile fut remplacé par des étais métalliques, et l'évidement dans la fondation autour du pied de la pile fut armé et rempli de béton. Enfin, on introduisit les trois câbles de précontrainte dans les gaines placées à cette fin dans la fondation en dessous du pied de pile, et on les mit en tension. Par la suite, le pont a été définitivement assis sur la fondation par le relâchement délicat des forces des vérins de levage, après quoi il a été possible d'enlever l'ensemble de l'installation de levage.

L'assainissement ultérieur

La reconstruction du pont destiné à la circulation descendante a été l'occasion de procéder à d'autres travaux de rénovation qui étaient de toute manière nécessaires. Après une nouvelle fermeture du pont fin août 1988, on exécuta une première étape de travaux composée de l'assainissement des têtes des consoles latérales ainsi

que du remplacement des glissières et du système d'évacuation des eaux. En même temps, on a injecté de la résine synthétique dans les fissures encore visibles dans les consoles du pont, dans les zones de la pile J et des piles voisines.

Vers les têtes de consoles, la couche supérieure de béton, dégradée par la pénétration de sel, fut enlevée par le procédé hydrodynamique, les anciens potelets des glissières furent dégagés par forage, et le profil théorique fut rétabli au moyen d'un mortier spécial. Par la suite, on a pu fixer les nouveaux potelets des glissières au moyen de goujons d'ancrage adhésifs. Les sacs existants furent remplacés par un système d'évacuation des eaux entièrement neuf comportant une conduite collectrice (fig. 19).

De la mi-décembre 1988 à la fin janvier 1989, le pont fut à nouveau ouvert à la circulation afin de réduire le danger d'accident pendant la période de grand trafic hivernal. Par la suite, jusqu'à la fin juin 1989, on a réalisé la deuxième étape de l'assainissement, à savoir le remplacement des joints de dilatation, de l'étanchéité du pont ainsi que du revêtement de la chaussée.

Les travaux d'assainissement ont comporté une cinquantaine d'opérations différentes et consécutives. Ils ont donc exigé une planification et une coordination minutieuses. Après leur achèvement, le pont avait retrouvé sa pleine valeur initiale.

Adresse de l'auteur :

E. Bräm, ing. civil dipl. EPF
 Chef de projet, SA Conrad Zschokke
 Räfelstrasse 11
 8045 Zurich

Liste des entreprises (travaux les plus importants)

Direction générale de l'exécution :
 SA Conrad Zschokke,
 entreprise générale
 8045 Zurich

Travaux de terrassement et de béton :
 Raymund Kalbermatten
 6484 Wassen

Jetting, pieux forés, goujons d'ancrage adhésifs et injections :
 SA Heinr. Hatt-Haller
 8022 Zurich

Précontrainte infrastructure :
 Spann Stahl SA
 8340 Hinwil

Constructions métalliques, échafaudages :
 Geilinger SA
 8180 Bülach

Travaux de levage :
 VSL International SA
 3001 Berne

Mesure de forces et de déplacements :
 Office des travaux publics Uri,
 section ouvrages d'art,
 laboratoire de technique
 de la construction
 6400 Altdorf

Programmation et direction :
 H.J. De Witte

Forages et sciages diamantés :
 Beñoncoupe ZS SA
 5001 Aarau

Travaux d'oxycoupage :
 SA Conrad Zschokke
 1219 Aïre

Précontrainte superstructure :
 Stahlton SA
 8034 Zurich

Assainissement des têtes de consoles :
 Sika Construction SA
 6005 Lucerne

Travaux d'évacuation des eaux :
 Alois Bader
 6377 Seelisberg

Glissières de sécurité :
 Paul Zurfluh
 6462 Seedorf

Travaux de géomètre :
 A. Hodel, Bureau d'Ingénieur
 et de Géomètre SA
 6460 Altdorf

Travaux de sauvegarde superstructure :
 Fietz & Leuthold SA
 8008 Zurich

Joints de dilatation :
 Bameco SA
 8424 Embrach

Travaux d'étanchéité
 et d'asphalte coulé :
 Association ATAG, ATISOL, STUAG
 6460 Altdorf