Protection contre les crues du pont sur la Reuss à Felli

Autor(en): **Bär, Hans / Aemmer, Martin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

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

Heft 26

PDF erstellt am: **13.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79425

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Protection contre les crues du pont sur la Reuss à Felli

Par Hans Bär et Martin Aemmer, Zurich

Dans le cadre de la remise en état du pont de Felli, on a également vérifié la résistance des piles de l'ouvrage en cas de crues. La présente contribution d'experts décrit les mesures de protection contre les crues pouvant être ultérieurement appliquées à des ponts reposant sur des fondations superficielles, ainsi que les examens et les procédures à englober dans la démarche pour assurer une protection économiquement optimale.

La campagne de sondages effectuée sur mandat du Service uranais du génie civil a montré que les piles RO 4 et RO 5 examinées ne s'appuyaient que partiellement sur le rocher (fig. 2 et 3). Par extension, on pouvait s'attendre à ce que les piles LO 1 et LO 2 ne soient pas davantage, ou seulement partiellement, fondées sur une roche de bonne qualité.

Un bureau spécialisé en géologie fut chargé d'établir une cartographie détaillée du lit de la Reuss près du pont de Felli. La couche de surface des rives avoisinant les fondations des piles est constituée de terrains meubles alternant avec la roche affleurante. Un matériau de base plus fin, entrecoupé de blocs résiduels distribués de façon irrégulière, compose le lit du cours d'eau. Les propriétés de ce matériau ont été déterminées par une analyse des agrégats charriés par la rivière. On a par ailleurs examiné la possible formation de laves torrentielles dans la vallée de Felli et leur éventuelle propagation jusqu'à l'embouchure du Fellibach dans la Reuss, en amont des piles septentrionales du pont. On a abouti à la conclusion que, sauf cas de précipitations exceptionnel, le potentiel d'éboulis de pente existant ne faisait guère craindre l'entraînement de laves torrentielles jusque dans la Reuss.

Dommages provoqués par les crues de 1987

Lors des événements météorologiques extrêmes de 1987, des matériaux pierreux non cohésifs jusque-là retenus par des blocs rocheux furent entraînés par dessus les fondations des cintres des paires de piles septentrionales et centrales. Les fondations ne subirent toutefois pas de dommages imputables à l'érosion, ce qui indique qu'à cet endroit, aucun phénomène érosif de fond n'est encore apparu. Lors de cet événement, on n'a donc manifestement pas atteint le seuil d'écoulement à partir duquel de vastes instabilités se formeraient dans le lit de la Reuss par ailleurs pourvu de gros blocs résiduels.

Hydrologie des crues et objectifs de protection

Sous le pont de Felli, en amont du point où le Fellibach se jette dans la Reuss, les crues de 1987 ont probablement entraîné une pointe de débit de 600 m³/s, ce qui correspond à un événement centennal. Quant au Fellibach, son apport au débit de la Reuss s'est élevé à moins de 30 m³/s à ce moment-là. Les recherches hydrologiques ont établi la périodicité suivante pour les débits de crues de la Reuss [1][1] :

Périodicité des débits de crues		
50 ans	*10 ans*	*2 ans*
470 m³/s	*350 m³/s*	*230 m³/s*

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin de chapitre

Selon les directives de protection contre les crues édictées par le canton d'Uri, le pont de Felli (au titre d'élément d'infrastructure d'importance nationale) est à considérer comme un objet particulier, qui doit être en mesure de subir sans dommages un débit allant jusqu'à 600 m³/s (HQ 100), équivalant à une crue centenaire [2]. En cas de crues plus importantes encore, une érosion limitée des rives au voisinage des piles de l'ouvrage est tolérable. Mais jusqu'aux crues dites extrêmes (EHQ) de 1000 m³/s, les phénomènes érosifs ne doivent jamais atteindre les surfaces sur lesquelles reposent les fondations des piles, dont l'affouillement est, passé un certain stade, synonyme de dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à l'effondrement de l'ouvrage.

Scénarios de dommages et estimation des risques pour les fondations de l'ouvrage

Or les études hydrauliques effectuées montrent qu'en cas de débits supérieurs à 600 m³/s (HQ 100), on ne peut exclure un affouillement des fondations des piles selon les scénarios suivants :

- déstructuration étendue du fond du cours d'eau avec creusement correspondant du lit et érosion des berges,
- affouillements locaux par des tourbillons, la formation de méandres et le rebond de masses

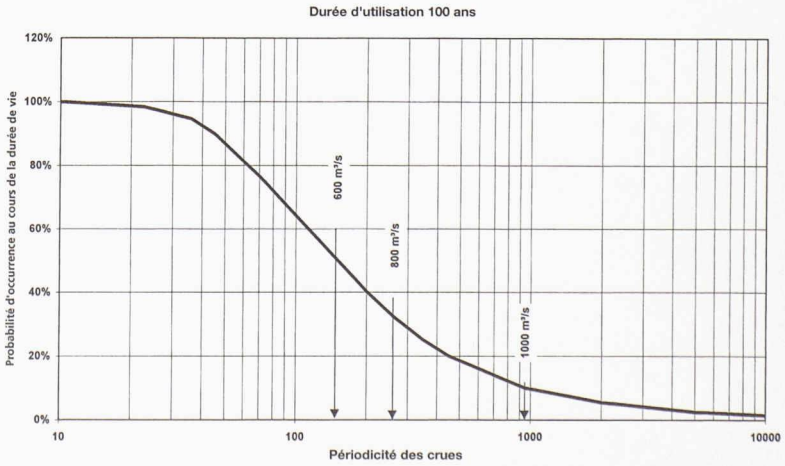
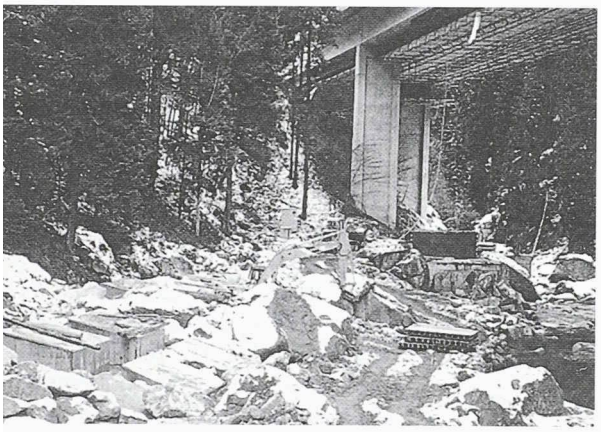


Fig. 1.- Probabilité de crues pendant la durée d'utilisation du pont (100 ans)



ig. 2.- Prismes de béton dans la zone des piles centrales (RO 5)

d'eaux détournées au voisinage des fondations,
- formation de laves torrentielles dans le Fellibach avec dépôts de matériaux dans la Reuss.

Dans la zone en amont des piles centrales (RO 5), la mobilisation de matériaux de fond est susceptible d'entraîner un début d'érosion à partir d'un débit de 600 m³/s déjà, tandis que dans la zone en aval de cette paire de piles (LO 2), ce danger n'apparaît qu'avec des débits de 900 m³/s. Près de la paire de piles septentrionales (RO 4, LO 1), après l'embouchure du Fellibach dans la Reuss, un éventuel dépôt de matériaux consécutif à une lave torrentielle de ce dernier augmenterait l'énergie de chute entraînant l'érosion du lit à partir d'un débit de 800 m³/s. Quant à la paire de piles centrales, elle peut de surcroît se trouver menacée d'affouillements par tourbillons à des débits de 600 à 800 m³/s déjà, si le phénomène n'est pas enrayé par des blocs résiduels consolidant le lit.

Autrement dit, en l'absence de mesures de protection et dans l'hypothèse d'une durée d'utilisation de cent ans pour le pont de Felli, le risque d'affouillement des piles menacées par des crues accuse une probabilité non négligeable de 50 % (fig. 1). Si, en revanche, des mesures conformes aux directives cantonales mentionnées plus haut sont prises, ce risque se voit ramené à 10 % durant la même période, et la probabilité d'apparition d'une crue dommageable pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage se trouve divisée par 9.

Au vu des risques très importants découlant d'un affouillement des fondations du pont de Felli sur l'axe A2 (danger d'effondrement, longues interruptions du trafic), les mesures de protection envisagées peuvent donc être qualifiées de nécessaires.

Variantes pour la protection contre les crues et conception choisie

Les mesures de protection contre les crues peuvent être appliquées à l'objet lui-même ou au cours d'eau et l'on peut distinguer les ouvrages de protection suivants:
- sur l'objet lui-même: reprise en sous-œuvre des fondations des piles jusqu'à une profondeur résistant à l'érosion ou jusqu'au niveau de la roche stable, enceintes de murs de soutènement et de systèmes de parois autour des fondations, écrans de pieux, etc.
- dans le cours d'eau: renforcement du lit et des berges à l'aide de blocs résiduels supplémentaires dans les zones sensibles pour les piles.

Pour le pont de Felli, on a accordé la préférence à la deuxième solution. Les ouvrages de protection dans le cours d'eau doivent donc prévenir les érosions dommageables au lit et aux berges de la Reuss, dans les zones de fondation des piles, jusqu'à la crue extrême (EHQ). S'il est théoriquement possible d'obtenir une stabilisation du lit et des berges par l'ajout d'un certain nombre de blocs assez lourds, on a – pour des raisons pratiques et suite aux expériences recueillies dans la protection contre les crues à Göschenen et Gurtnellen –, opté pour des blocs résiduels artificiels faits de cubes ou de parallélépipèdes de béton coupés en diagonale [3, 4].

Capables de résister au courant, les prismes de béton ainsi constitués s'arriment dans le lit tout en stabilisant les rives. Ils peuvent en outre être disposés en fonction des blocs rocheux déjà présents. Les rochers mis au jour lors de la fouille peuvent ainsi être combinés avec les prismes de béton et, le cas échéant, diminuer le nombre de blocs artificiels prévus.

L'implantation de blocs artificiels ne touche pas toute l'étendue du lit, mais se limite aux zones déterminantes pour la protection des piles. Les prismes sont enfouis dans le lit et au pied des berges de manière à ce que l'efficacité hydraulique liée à leur dégagement demeure réservée aux cas de crues majeures (fig. 2). Les sommets des prismes saillants hors du lit naturel de la rivière sont ensuite recouverts de blocs d'une certaine grosseur provenant des travaux d'excavation ainsi que de matériaux de déblai (calibre individuel 30 à 60 kN), enfin laissés aux processus de répartition naturels.

Principes de dimensionnement des prismes de béton

L'effet de blocs résiduels artificiels sur la stabilité du lit a été évalué à partir du modèle de bloc décrit dans le rapport sur le débit solide enregistré lors des crues de 1987 [5]. L'implantation de ces prismes de béton permet de modifier le coefficient de perte de charge – exprimé par les paramètres du lit déterminant la mobilisation de matériaux, soit D (diamètre équivalent d'une sphère de masse identique) et n (concentration des blocs résiduels en surface) – de manière à ce que le débit limite fixé Q_d > EHQ puisse être assuré.

Pour le dimensionnement des blocs résiduels artificiels, il s'agit tout d'abord d'évaluer la longueur d'arête ainsi que le nombre de blocs à disposer. Pour des raisons relevant de l'exécution, la longueur d'arête des cubes ne devrait pas être fixée à plus de 4 m (poids du bloc 2 · 80 t) et l'intervalle entre blocs à moins de 1 m. La longueur d'arête retenue pour

Exemple: dimensionnement des blocs résiduels artificiels au voisinage de la paire de piles septentrionale

	Lit naturel	*Ajout de prismes de béton*
D [m]	3,9	4,1
n [nombre / m²]	0,004	0, 006
Q_d [m³/s]	800	> 1000

les prismes doit être convertie au diamètre d'une sphère de masse identique. En tenant compte des blocs résiduels naturels présents dans la zone concernée, on peut alors établir les paramètres déterminants D et n du lit, modifiés par l'ajout de blocs artificiels. En appliquant le modèle de bloc et sur la base des paramètres révisés D et n, on peut donc calculer le nouveau débit limite Q_d déclenchant la mobilisation de matériaux dans un lit équipé de prismes de béton.

Exécution des travaux

Les mesures de protection contre les crues mises en place au voisinage des piles et des fondations de l'ouvrage ne doivent entraîner aucun déplacement ou déformation inadmissible de la structure. Les limites de déformation pour les fondations (tassement au centre $s < 20$ mm et tassement différentiel $\Delta s < 10$ mm parallèlement et perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage) devaient donc impérativement être respectées, de même qu'il fallait assurer la stabilité de pente, ainsi que la sécurité au glissement et à la rupture des fondations.

La méthode dite de l'observation a été appliquée à l'exécution des travaux. Cela implique que certaines mesures correctrices peuvent opportunément pallier des conditions moins favorables que prévu une fois le chantier ouvert et que d'éventuelles modifications de projet demeurent possibles.

Les mesures complémentaires suivantes ont encore été portées au descriptif des travaux et partiellement prises en considération en fonction des coûts:

- remblayage immédiat de la fouille jouxtant les fondations des piles,
- après excavation préliminaire, fouilles successives par étapes pour l'implantation des prismes de béton individuels,
- étais métalliques obliques appuyés du côté du cours d'eau.

Dans les zones de fondation des piles, les travaux ont été exécutés comme suit: une fois les digues de protection et la piste de chantier mises en place, on a entaillé la pente et procédé à l'excavation préliminaire jusqu'à 4,50 m au-dessus du fond de fouille final. Après l'installation d'une traverse de béton et la pose d'une couche d'ancrages, on a exécuté la fouille pour l'implantation de deux prismes de béton. Grâce à la structure favorable du sous-sol, le soutènement du talus accusant une forte pente de 2:1 a pu être assuré par un treillis de protection et n'a qu'exceptionnellement nécessité du béton projeté. Dix jours après leur bétonnage, les prismes ont été remblayés et recouverts de blocs de rocher. Dans la mesure du possible, ils ont été réalisés avec un ciment CEM I / 32.5, afin de ralentir l'élévation de température due à l'hydratation du béton. Cela a en outre permis d'augmenter la granulométrie maximale des agrégats.

Déroulement des opérations et programme des travaux

Tributaires à la fois des conditions hydrologiques, de l'infrastructure de chantier et de la gestion du trafic sur la route cantonale, les opérations devaient en outre se dérouler dans la zone d'influence des travaux de remise en état des ponts. Quant au déroulement des travaux, il devait être coordonné de manière à permettre l'écoulement sans dommages d'une crue de chantier jusqu'à un débit de 350 m³/h (HQ 10), si bien que les digues de protection, les installations, les surfaces de dépôt, ainsi que les emplacements de secours pour machines et équipements devaient être disposés en conséquence. Enfin, les directives de protection de l'environnement s'opposaient à l'aménagement d'une voie d'accès provisoire dans le lit de la Reuss.

Pour des raisons hydrologiques, le programme des travaux devait exclure certaines opérations de blindage avant le mois de décembre tout en prescrivant leur achèvement à fin février. Finalement, la planification devait encore tenir compte des périodes d'indisponibilité des deux grues installées pour la remise en état des ponts durant la réalisation des ouvrages de protection contre les crues. De l'installation des premiers équipements de chantier en octobre 1996 à la fin des opérations en mars 1997, les travaux ont duré une demi année en tout.

Bibliographie

[1] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW): Hydrologie des Hochwassers vom 24.-25. August 1987 im Urner Reusstal (inédit), 1989

[2] Kanton Uri: Richtlinie für den Hochwasserschutz. juni 1992

[3] Schleiss A: Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtnellen, *wasser, energie, luft* N° 5/6, pp. 93-98, 1996

[4] Schleiss A., Aemmer M., Philipp E., Webe H.: «Erosionsschutz an Gebirgsflüssen mit eingegrabenen Betonprismen», *wasser, energie, luft*, 1998

[5] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW): «Flussmorphologie des Mittellaufs zwischen Göschenen und Amsteg. Geschiebeumlagerungen während des Hochwasserereignisses vom 24.-25.August 1987 zwischen dem Urnerloch und Urnersee. Bericht zuhanden des Bauamts Uri (inédit), 1992.