Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 94 (2002)
Heft: 5-6

Artikel: Renouvellement de l'évacuateur de crues du barrage de Montsalvens
Autor: Bremen, Roger
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939638

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

Renouvellement de l'évacuateur de crues du barrage de Montsalvens

■ *Roger Bremen*

1. Résumé

Le barrage de Montsalvens, propriété des Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), a fait l'objet d'importants travaux d'assainissement. Construit au début des années vingt dans une gorge de la vallée de la Jogne près de Bulle, l'ouvrage présente de nombreuses particularités constructives qui rendent ce barrage voûte exceptionnel. Les travaux achevés en 1999 concernent essentiellement le confortement de l'appui en rive gauche du barrage, le renouvellement des évacuateurs de crues ainsi que la mise à jour de l'instrumentation d'auscultation.

L'article, dont le contenu a été présenté lors des journées du 21 juin 2001 organisées par l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (OFEG) se concentre sur les travaux de renouvellement de l'évacuateur de crues en rive gauche qui ont comporté la première installation en Suisse de vannes fusibles du type Hydroplus. Outre les caractéristiques de ces organes, l'article présente les principaux avantages ainsi que les aspects particuliers à prendre en compte pour leur conception et installation.

2. L'aménagement de Montsalvens

Le barrage voûte de Montsalvens, dont la construction s'est achevée en 1921, ferme la vallée de la Jogne environ 6 km à l'est de la ville de Bulle FR. Les eaux de la retenue, d'un volume total de 12,6 mio m^3, sont acheminées au moyen d'une galerie d'amenée de 1680 m vers la conduite forcée et la centrale de Broc équipée de cinq groupes de 4,8 MW chacun produisant en moyenne 62 GWh par an. Projeté par les ingénieurs H.E. Gruner et H. Gicot, le barrage voûte s'élève sur une hauteur de 52 m avec une longueur du couronnement de 110 m et un volume total de béton de 26 000 m^3. Situé à l'entrée d'une gorge à une altitude d'environ 800 m s.n.m., le barrage s'appuie sur deux éperons rocheux constitués de calcaires du Malm dont les bancs de faible épaisseur sont redressés sub-verticalement. Une situation schématique du barrage et de ces ouvrages annexes ainsi qu'une coupe type sont illustrées à la Figure 1.

Du point de vue historique il faut relever que le barrage de Montsalvens représente le début de la construction des barrages voûtes à double courbure en Europe. En effet il s'agit du premier barrage de ce type construit avec des arcs à rayons variables et dont l'épaisseur s'accroît vers les appuis. Les voûtes construites précédemment en Europe se caractérisaient par une forme cylindrique et une épaisseur constante des arcs. Outre la géométrie de l'ouvrage, le barrage se distingue par l'emploi de moellons préfabriqués en béton qui forment les deux parements de l'ouvrage.

Afin de limiter les effets de retrait du béton, le barrage fut divisé en cinq voussoirs réalisés séparément au moyen d'un béton hydraulique acheminé par des goulottes sur le site. La fermeture de l'arc fut obtenue par le bétonnage des ouvertures de 1 m ménagées entre les voussoirs équipés de redans pour assurer une meilleure liaison entre les éléments. Des détails supplémentaires concernant les caractéristiques de l'ouvrage et sa construction sont contenus dans [1].

Pour ce qui concerne les ouvrages annexes, outre une vidange de fond avec une capacité maximale de 57 m^3/s renouvelée en 1969, le barrage disposait, avant les travaux de deux évacuateurs de surface d'une capacité de 75 m^3/s chacun équipés de vannes secteur qui dataient de la période de construction de l'aménagement. L'évacuateur de crues en rive droite, réalisé en 1945, amène les eaux en aval du barrage au moyen d'une galerie à forte pente d'une longueur d'environ 370 m. Cet évacuateur a été exécuté à la suite d'un écroulement qui s'était produit en 1944 sur la falaise en rive gauche juste en dessous de l'évacuateur de crues. Depuis cet événement, une des passes de l'évacuateur en rive gauche fut abandonnée et remplacée par le nouvel ouvrage en rive droite.

Mis à part l'événement décrit précédemment, le comportement d'ensemble du barrage de Montsalvens a été satisfaisant et régulier depuis sa mise en service en 1921. Toutefois déjà en 1937 la surveillance de l'ouvrage mettait en évidence des mouvements irréversibles de l'appui rive gauche. Ce dernier est constitué par un éperon rocheux relativement mince avec une schistosité pratiquement verticale et parallèle à la vallée. A l'exception d'un gunitage du rocher effectué à la suite de l'écroulement de 1944 et une surveillance continue du phénomène, aucune mesure constructive majeure ne fut toutefois entreprise.

En 1969 l'instrumentation de surveillance du barrage et de l'appui gauche fut complétées par l'installation d'un pendule inversé et de deux extensomètres permettant de mieux suivre l'évolution des déformations. A cette occasion on procéda également à une série de travaux d'assainissement mineurs sur le barrage et l'éperon rocheux.

Les mesures supplémentaires mises à disposition par la nouvelle instrumentation associées aux campagnes de reconnaissances géologiques ont permis une étude plus détaillée des phénomènes observés notamment à partir des années 80. Il faut relever que depuis 1969, les déformations cumulées mesurées par le pendule inversé, perpendiculaires à l'axe de la vallée, s'élèvent à environ

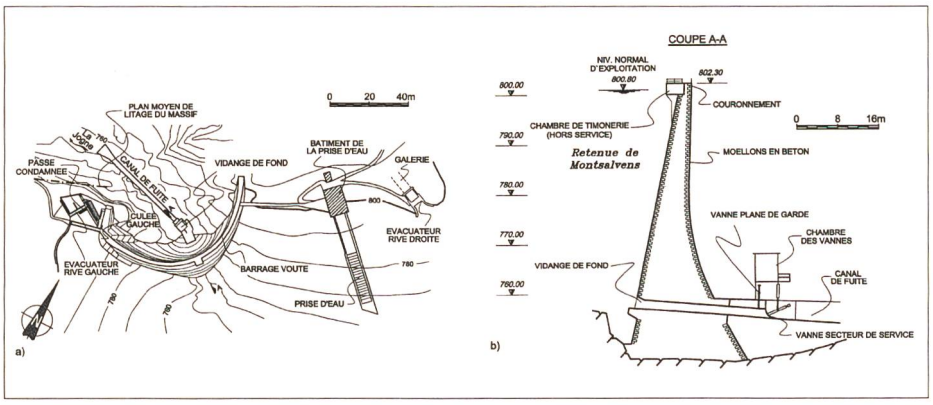

Figure 1. Barrage de Montsalvens: a) Vue en plan schématique du barrage et des ouvrages annexes; b) section en clef de voûte.

20 mm. Ces déformations n'ont toutefois pas affecté jusqu'à ce jour le comportement du barrage.

Enfin, tel que pour de nombreux aménagements en Suisse, vers la fin des années 80 une attention croissante fut consacrée à la sécurité des barrages en cas de crues. Plusieurs études hydrologiques et hydrauliques ont donc été réalisées visant à redéfinir les caractéristiques des événements extrêmes et les conditions de leur évacuation. Pour le cas de Montsalvens, ces études avaient mis en évidence une insuffisance de la capacité de décharge disponible.

Les conditions précédentes ont conduit en 1994 à l'élaboration d'un avant-projet visant à définir l'ensemble des travaux nécessaires pour assurer un comportement satisfaisant de l'ouvrage à long terme, en accord avec les exigences de sécurité en vigueur. En 1997, les EEF ont chargé le Groupement d'ingénieurs pour la réhabilitation du barrage de Montsalvens (GIREHMON) regroupant les bureaux Barras Ingénieurs-Conseils (Bulle), Gicot Géotechnique (Fribourg) et Lombardi SA (Minusio) de l'élaboration du projet définitif et du suivi des travaux d'assainissement du barrage qui ont été réalisées pendant les années 1998 et 1999.

La Figure 2 illustre le barrage ainsi que l'évacuateur de crues en rive gauche tel qu'il se présente après l'achèvement des travaux d'assainissement.

3. Projet d'assainissement du barrage

3.1 Confortement de l'appui gauche

Afin d'améliorer les conditions de stabilité de l'éperon rocheux en rive gauche en cas de séisme et de freiner les déformations plastiques en cour, le projet de confortement a comporté dans un premier temps la pose de 256 boulons d'ancrage $\varphi = 28$ mm d'une longueur de 6 m recouvrant environ 1900 m^2 de roche et de béton projeté de manière à protéger la falaise des dangers d'écroulements superficiels. Dans un deuxième temps, 169 ancrages passifs $\varphi = 50$ mm d'une longueur comprise entre 15 m et 27 m ont été mis en place afin d'augmenter la résistance au cisaillement le long des plans de litage. Enfin, 39 forages de drainage, d'une longueur comprise entre 15 m et 25 m, ont été réalisés parallèlement aux travaux de stabilisation de manière à réduire au minimum la pression d'eau dans les discontinuités sub-verticales à l'intérieur de l'éperon rocheux. Ces drainages sont équipés d'une résistance chauffante pour éviter leur obturation en période hivernale.

3.2 Renouvellement des évacuateurs

Les études hydrologiques et hydrauliques réalisées depuis la fin des années 80 associées à une évolution des critères de sécurité appliqués aux barrages, avaient mis en évidence une insuffisance de la capacité des organes de décharge. Le débit spécifique de 2 m^3 (s/km^2) pour l'événement millénal appliqué à la superficie du bassin versant intéressé par la retenue de Montsalvens, à savoir 173 km^2, conduit à un débit de pointe de 346 m^3/s. La simulation du comportement de la retenue, dans sa configuration avant les travaux, conduisait à un débordement important par dessus le couronnement du barrage et son appui gauche. Une telle situation associée à l'ancienneté des organes mobiles en place a rendu indispensable le renouvellement des deux évacuateurs du barrage.

Pour ce qui concerne l'évacuateur en rive gauche, le projet comportait non seulement un renouvellement des organes mobiles mais également une amélioration sensible de son comportement hydraulique visant notamment à augmenter sensiblement sa capacité de décharge.

Un certain nombre de variantes avaient été examinées et comparées sur la base de critères hydrauliques, constructifs, de sécurité et de coûts. Les EEF ont par la suite évalué l'opportunité de la mise en place de vannes fusibles du type Hydroplus en complément aux variantes de l'avant-projet. Sur la base des premiers résultats des études sur modèles réduits effectuées en collaboration avec la maison Hydroplus et d'une mise à jour du comportement de la retenue en cas de crues avec ce type d'organe, il a été décidé d'entente avec l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (OFEG) de conduire cette variante au niveau de projet définitif.

La géométrie de l'évacuateur de crues en rive gauche finalement retenue après les différents essais sur modèle décrits par la suite est représentée sur la Figure 3. L'ouvrage de décharge, est constitué essentiellement par une zone d'approche, un dé-

Figure 2. Vue d'ensemble du barrage et de l'appui gauche après les travaux d'assainissement. En premier plan l'évacuateur de crues en rive gauche avec l'installation des vannes du type Hydroplus (Photo Hydroplus).

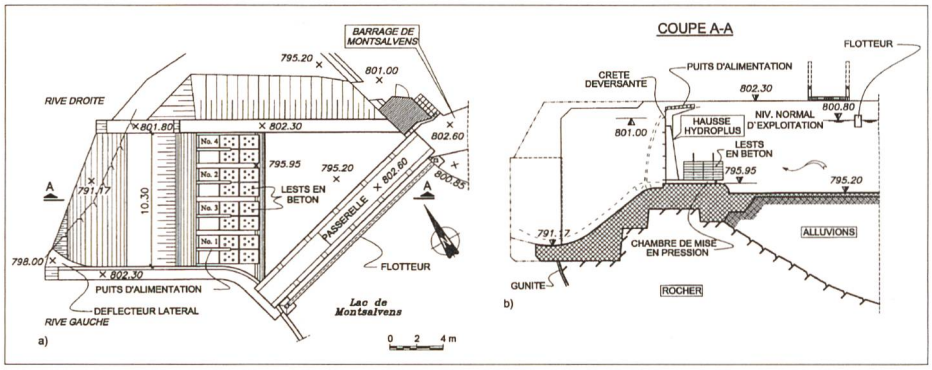

Figure 3. Evacuateur de crues en rive gauche après les travaux de renouvellement; a) vue en plan et b) coupe type.

versoir et un coursier se terminant en saut de ski. L'écoulement est conduit au déversoir par un entonnement non symétrique constitué en rive droite par l'appui gauche du barrage et en rive gauche par un mur guideau. Ces conditions d'approche particulières obligent l'écoulement à décrire une courbe en «S» avant son déversement.

Le déversoir d'une largeur totale de 10,30 m est constitué des quatre hausses fusibles du type Hydroplus avec une crête déversante rectiligne située à la cote 801,00 m s.n.m. soit 0,20 m au-dessus du niveau max. d'exploitation de la retenue. Chaque hausse est munie d'un puits vertical relié à la chambre de mise en pression et d'un lest en béton dimensionné pour permettre son basculement à la cote de retenue voulue. Les principes de fonctionnement des éléments fusibles du type Hydroplus sont contenus dans [2].

Les hausses fusibles de 5,05 m de hauteur et 2,57 m de largeur chacune s'effacent successivement pour des niveaux de retenue croissants (802,04, 802,13, 802,18 et 802,21 m s.n.m.), libérant ainsi par paliers de nouvelles sections pour l'évacuation des crues. Le basculement successif des éléments permet une augmentation progressive du débit restitué à la Jogne lors de crues. La capacité de décharge maximale de cet ouvrage atteint ainsi 300 m^3/s par rapport au 75 m^3/s précédents permettant, en respect des exigences formulées par l'OFEG, le passage de la crue millénale sans débordement par dessus le couronnement du barrage (802,30 m s.n.m.).

Le coursier aval terminé en saut de ski doit permettre à l'eau, après une phase d'accélération, de décoller et d'éloigner au mieux le jet de la falaise. Une bonne diffusion du jet favorise la dissipation d'énergie dans l'air et limite ainsi tout risque d'érosion du lit au point d'impact.

Un ouvrage de protection contre l'érosion est réalisé au pied de la falaise sous l'évacuateur de manière à prévenir toute déstabilisation du massif. En effet, même si une érosion significative au pied de l'éperon rocheux n'est pas retenue probable, il s'agit d'exclure tout risque d'aggravation possible des conditions de stabilité de l'appui gauche du barrage. Les résultats des essais sur modèle réduit ont permis d'optimaliser le type et l'emprise de l'ouvrage. Ce dernier est constitué d'une enceinte de confinement en béton armé remplie de blocs prélevés sur le site.

Pour ce qui concerne l'évacuateur en rive droite, le projet a comporté essentiellement le remplacement de la vanne segment en place de 5,05 m de largeur et 4,40 m de hauteur par une vanne plane de mêmes dimensions. En effet, depuis sa mise en service en 1945, le comportement de cet évacuateur a toujours été satisfaisant ne demandant aucune intervention majeure. Par conséquent, la capacité de décharge d'environ 75 m^3/s à pleine ouverture ainsi que les conditions d'écoulement actuelles ne sont que peu modifiées par l'assainissement de l'ouvrage.

3.3 Mise à jour de l'instrumentation d'auscultation

Pour le barrage la mise en place d'un pendule inversé du type «Hydro-Québec» de 80 m de long placé en clef de voûte a permis d'améliorer sensiblement le suivi des déformations horizontales de l'ouvrage. L'emploi du système «Hydro-Québec», permettant la détermination des déplacements à différents niveaux, est justifié par le fait que le corps du barrage n'est pas accessible au moyen de galeries. En complément des mesures de température ambiante, neuf capteurs de température sont mis en place dans le corps de l'ouvrage. Ces derniers ont pour but de définir le comportement thermique du barrage et offrir ainsi la possibilité d'affiner le modèle liant les mouvements du barrage aux variations de température du béton.

Pour l'éperon rocheux, l'instrumentation complémentaire est plus conséquente et se justifie par la nécessité de cerner aux mieux son comportement. Pour la détermination des mouvements d'ensemble, le système en place a été complété par un pendule du type «Hydro-Québec», d'une longueur de 66 m, réalisé depuis la plate-forme de l'appui gauche du barrage. Les déplacements différentiels au sein du massif sont mesurés en différentes sections à l'aide de trois micromètres coulissants et quatre extensomètres réalisés depuis la falaise. Ces derniers doivent essentiellement permettre d'évaluer l'efficacité des travaux d'assainissement de l'éperon.

Enfin, l'exécution de cinq piézomètres munis chacun de tubes piézométriques permet le suivi des pressions hydrostatiques à l'intérieur de l'appui rive gauche.

4. Essais aux laboratoires

En raison de la complexité des conditions d'écoulement en amont et au passage de l'évacuateur en rive gauche et de l'utilisation de hausses fusibles d'une hauteur jamais atteinte en Europe, la réalisation de deux études sur modèles a été retenue indispensable pour affiner le dimensionnement définitif de l'ouvrage.

Le premier modèle réalisé à l'échelle 1:30 à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne concerne l'évacuateur de crues dans son ensemble depuis la zone d'approche au déversoir jusqu'à la zone d'impact du saut de ski.

Ce modèle a permis d'identifier dans un premier temps la forme géométrique optimale de l'évacuateur en regard des conditions d'approche et de la capacité hydraulique de l'ouvrage. Une fois cette géométrie arrêtée, les caractéristiques hydrauliques du projet sont définies et exploitées pour la simulation du comportement de la retenue dans les différentes conditions d'exploitation. Les solutions visant à prévenir ou limiter le risque d'érosion du pied de la falaise en correspondance du point d'impact du jet de l'évacuateur en rive gauche ont également été étudiées.

Le deuxième modèle réalisé à l'échelle 1:10 ne concernait que les éléments Hydroplus placés sur le seuil fixe du déversoir. Pour ce modèle les quatre hausses d'une hauteur de 0,505 m et une largeur de 0,257 m chacune ont été construites en acier selon un projet préliminaire réalisé par la maison Hydroplus. Ce deuxième modèle avait pour objectif la modélisation de l'ensemble des conditions de service des hausses, et notamment:

- définition exacte des niveaux d'alimentation des puits pour la séquence de basculement;
- évaluation des conditions de stabilité avant le basculement et dimensionnement du ballast pour chaque élément fusible;
- analyse de l'effet de corps flottants sur le comportement hydraulique et la stabilité des éléments, et
- évaluation de la fiabilité de fonctionnement des éléments lors de conditions de service exceptionnelles tel que gel, séisme, etc.

La Figure 4 représente une vue aval respectivement amont des hausses utilisées pour le deuxième modèle. A relever que les hausses ont été construites de sorte à respecter non seulement une similitude hydraulique (selon Froude) mais également une similitude des forces agissant sur les éléments fusibles de manière à représenter correctement leurs conditions de basculement.

De manière générale, ces essais ont mis en évidence que les conditions de stabilité des hausses étaient satisfaisantes en toute condition de service. Toutefois après le basculement des deux premières hausses, l'augmentation de la vitesse d'approche sur le déversoir comportait un abaissement du niveau du plan d'eau en correspondance de la section des hausses ce qui rendait difficile l'alimentation des puits de mise en pression des chambres de basculement. Une solution alternative a donc dû être trouvée pour assurer une séquence de basculement satisfaisante.

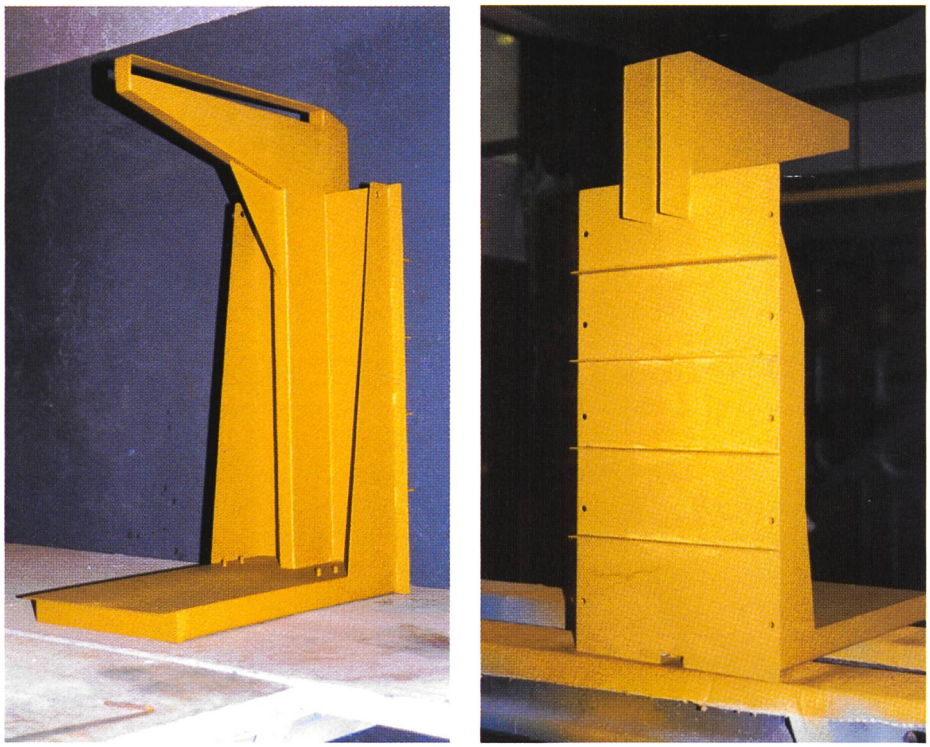

Figure 4. Hausse fusible du modèle à l'échelle 1 : 10 avec alimentation conventionnelle du puits de mise en pression de la chambre de basculement; a) vue aval et b) vue amont.

Les hausses fusibles N° 3 et N° 4 ont donc été munies d'une chambre d'équilibre dont l'alimentation est positionnée sur le parement amont des hausses. Cette solution permet, tel qu'un tube de Pitot, d'établir dans le puits d'alimentation un niveau correspondant pratiquement à la charge hydraulique et non à celui du niveau du plan d'eau. Cette modification permet de calibrer la séquence de basculement des deux dernières hausses de manière indépendante des conditions d'écoulement. La Figure 5 montre une vue amont d'une telle hausse. (Cette figure est à comparer avec la Figure 4a.)

5. Remarques finales concernant l'installation de hausses fusibles

Bien que les hausses fusibles soient des éléments apparemment simples, un certain nombre d'aspects particuliers et de mesures constructives sont à considérer afin d'en assurer un comportement satisfaisant en toute condition d'exploitation.

La possibilité de gel conduisant à une poussée de la glace ainsi que l'éventuelle obstruction de l'orifice de drainage de la chambre de mise en pression sont à considérer. Dans le cas présent un système produisant des bulles d'air a été installé afin de prévenir la formation de glace devant les hausses. En présence d'une végétation abondante dans le bassin versant de la retenue, une protection des hausses contre les corps flottants doit également être prévue.

Lorsque les conditions d'approche en amont des hausses ne sont pas uniformes, seul un modèle hydraulique de détail des hausses semble permettre la détermination finale des niveaux d'alimentation des puits d'alimentation. Lors de vitesses d'approche d'une certaine importance la solution avec une chambre d'équilibre semble être plus satisfaisante qu'une solution traditionnelle.

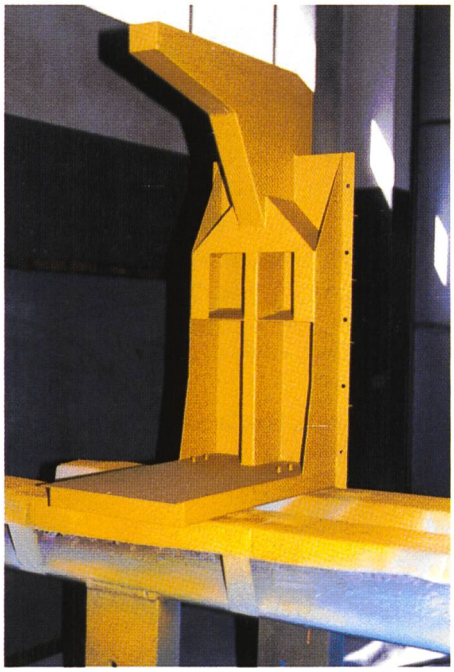

Figure 5. Hausse fusible du modèle à l'échelle 1 : 10 avec alimentation du puits de mise en pression par une chambre d'équilibre. Solution pour hausses N° 3 et N° 4.

Du point de vue constructif une attention particulière doit être consacrée au joint à la base de la hausse. Ce joint représente l'élément clef du fonctionnement des hausses et il doit en conséquence être réalisé avec un grand soin. Dans le cas particulier du barrage de Montsalvens la lèvre du profil en néoprène s'appuie sur une plaque en acier inox noyée dans le béton du seuil.

Enfin pour des hausses d'une taille dépassant quelques mètres la précision d'exécution requise devient comparable à celle des vannes conventionnelles car toute interaction entre les hausses doit être exclue lors de leur basculement.

Références

[1] Entreprises Electriques Fribourgeoises: «L'usine de Broc et bassin d'accumulation (lac de Montsalvens)», bulletin technique de la Suisse romande, 1928.

[2] *S. Chevalier*: «Les vannes fusibles», conférence sur «La réhabilitation des barrages du canton de Fribourg», Ecole d'ingénieurs de Fribourg, 20 mai 1997.

[3] Commission Suisse des Grands Barrages: «Mesures, observations et essais sur les grands barrages suisses, 1919–1945», Publication de l'Inspection fédérale des travaux publics, Berne, 1946.

[4] *H. Gicot:* «Une méthode d'analyse des déformations des barrages», Comptes rendus du XIIe Congrès de la CIGB, Mexique, Vol. IV, C1, 1976.

[5] *O. Gicot:* «Montsalvens, Barrages Suisses – surveillance et entretien», publié à l'occasion du XVe Congrès de la CIGB, Lausanne, 1985.

[6] *P. Lazaro, D. Golliard*: «Confortement de l'appui gauche du barrage de Montsalvens», eau, énergie, air, Vol. 91, N° 11/12, 1999.

Adresse de l'auteur

Dr. *Roger Bremen*, Lombardi SA, via R. Simen 19, CH-6648 Minusio.