Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

OPTIMISATION D'UN PIEGE A GRAVIERS PAR MODELISATION PHYSIQUE SUR LE BALTSCHIEDERBACH EN VALAIS (CH)

OPTIMIZATION OF A SEDIMENT RESERVOIR BY PHYSICAL MODELLING IN THE BALTSCHIEDER RIVER IN VALAIS (CH)

Frédéric Jordan[1], Martin Jäggi[2], Urs Nigg[3]

RESUME

Lors de fortes crues se produisant dans les bassins versants alpins, le transport solide est fréquemment une cause majeure de dommages sur les personnes, les biens et l'environnement. Pour s'en protéger, des ouvrages de génie civil sont parfois nécessaires, en particulier lorsque le transit des matériaux solides ne peut être assuré. Dans ce cas, la construction de pièges à graviers constitue une solution technique économique et efficace.
Lors des crues survenues en automne 2000 en Valais, le village de Baltschieder, situé sur le cône de déjection du Baltschiederbach juste à l'amont de sa confluence avec le Rhône, a été partiellement recouvert par une couche de deux à quatre mètres de sédiments. Suite à cet événement, un concept de protection a été étudié, qui comprend la création d'un piège à graviers composé de deux réservoirs successifs. La capacité totale de stockage du système doit correspondre au volume de sédiments charriés par une crue extrême.
Afin de vérifier et d'optimiser le fonctionnement de cet aménagement et d'en déterminer la capacité exacte, un modèle réduit à l'échelle 1:35 a été réalisé sur le site, afin de permettre à la population sinistrée d'assister aux essais et de retrouver la confiance perdue suite à la catastrophe. Les essais réalisés ont permis l'optimisation des ouvrages d'évacuation et de réglage du niveau de la retenue ainsi que la vérification du comportement exact et de la capacité utile de l'ouvrage. Cet article présente le concept adopté pour la gestion des crues et du transport solide ainsi que les résultats et enseignements tirés des essais sur modèle physique.

Key words: Crues, Sédiments, Baltschieder

[1] Ing. Civ. Dipl. EPFL, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, CH-1015 LAUSANNE (Tel.: +41 21 693 23 66; Fax: +41 21 693 22 64; e-mail: fred.jordan@epfl.ch)
[2] Dr Ing. Rural Dipl. ETHZ, Jäggi Hydraulique et Morpholgie Fluviale, Zürichstrasse 108, CH-8123 EBMATINGEN (Tel.: +41 1 980 36 26; Fax: +41 1 980 36 30; e-mail: jaeggi@rivers.ch)
[3] Ing. Rural Dipl. ETHZ, Office Fédéral des Eaux et de la Gologie (OFEG), rue du Débarcadère 20, CH-2501 BIENNE (Tel.: +41 32 328 87 21; Fax: +41 32 328 87 12; e-mail: urs.nigg@bwg.admin.ch)

ABSTRACT

During rare flood events occurring in alpine valleys, sediment transport often causes severe damages on people, goods and environment. To avoid such fatalities, civil engineering works may be necessary, particularly when a sufficient sediment transport capacity cannot be assured. In such cases, sediment detention basins constitute an interesting technical and economical solution.
An important part of the village of Baltschieder, located on the alluvial fan of the Baltschiederbach in Valais, was buried under a two to four meters layer of sediment deposits during the flood event of October 2000. After this disaster, a new concept of flood mitigation was studied, including the construction of two sediment detention basins whose total capacity corresponds to the total amount of sediment transported by an extreme flood.
In order to check the functioning of the system, physical modelling was undertaken at a 1:35 scale. The model was built in Baltschieder to let the local population see the real functioning of the flood mitigation system and recover the lost confidence. The tests allowed to optimize the outlets and to check the real detention capacity of the reservoirs. This contribution presents the final concept as well as the results of the physical modelling.

Key words: Flood, Sediment, Baltschieder

INTRODUCTION

Problématique de la protection contre les crues à Baltschieder

Le village valaisan de Baltschieder est situé à la confluence du Rhône et du Baltschiederbach, torrent alpin prenant sa source sur le versant Est du Bietschhorn à l'altitude de 3934 m s.m. Ce torrent à forte pente se jette dans le Rhône à l'altitude de 660 m s.m. environ, 500 mètres à l'aval de sa sortie d'une gorge profonde. Dans cette zone à faible pente se situent de nombreuses constructions privées ou appartenant à la collectivité de Baltschieder.
En octobre 2000, une crue exceptionnelle a eu lieu dans plusieurs régions alpines dont le val d'Aoste, le Haut Valais et le Valais central. Les précipitations intenses dues à un effet orographique prolongé ont duré 3 jours, débutant le vendredi 13 octobre et se terminant le dimanche 15 octobre dans l'après-midi. Ces fortes précipitations ont conduit à la catastrophe lorsque, dimanche 15 octobre 2000 vers 7h00, le débit du Baltschiederbach a atteint une valeur de près de 100 m^3/s, correspondant à un temps de retour centennal. L'importante quantité de sédiments charriés par le torrent s'est alors déposée à la sortie de la gorge, lorsque la pente est subitement réduite, menant à la formation d'un delta. Le volume total des dépôts a été estimé à 100'000 m^3 et l'épaisseur moyenne des dépôts variait entre deux et quatre mètres.
De nombreuses constructions telles que villas, petits immeubles, routes et canalisations ont été ensevelies et détruites en quelques heures par ces sédiments, provoquant des dégâts d'un montant total estimé à 70 mio CHF. Par chance, les autorités purent évacuer la population locale à temps et éviter ainsi toute perte humaine.
Cet événement a précipité la mise en place d'un concept de protection contre les crues destiné à protéger la population et les biens de Baltschieder lors de situations similaires.

Méthodologie

La méthodologie suivie pour l'établissement du concept de protection contre les crues a permis l'implantation de mesures d'urgence, puis leur amélioration à la suite d'une étude plus approfondie.

Tout d'abord, une analyse phénoménologique a permis d'évaluer les processus hydrologiques à l'origine de la crue d'octobre 2000 ainsi que l'ordre de grandeur des débits, débits solides et dépôts de sédiments (Nigg & al., 2002). Ces valeurs ont conduit au dimensionnement d'une digue fermant un réservoir artificiel servant de piège à graviers, constituant les mesures d'urgence.
En même temps que la construction de cet ouvrage, un avant-projet détaillé était élaboré afin d'atteindre les objectifs de protection visés, c'est-à-dire la protection totale des biens et des personnes pour une crue centennale et la minimisation des risques résiduels lors d'une crue extrême. Afin d'assurer l'efficacité du système de protection contre les crues, des essais sur modèle réduit ont été effectués (LCH, 2002), qui ont permis l'optimisation des ouvrages hydrauliques ainsi que la vérification et l'amélioration de la gestion des sédiments lors des crues. Les résultats de ces essais ont enfin été intégrés en cours d'étude pour aboutir au projet définitif.

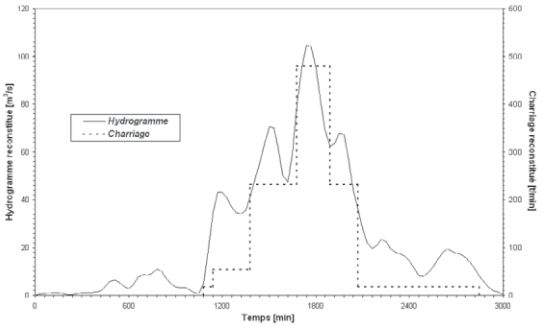
CONCEPT DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE BALTSCHIEDER

Données géomorphologiques

Le Baltschiederbach est alimenté par un bassin versant typique des régions alpines. Son point culminant est situé à l'altitude de 3934 m s.m. et son exutoire dans le Rhône à l'altitude de 647 m s.m. pour une longueur de 11 km. Sa surface totale est de 42.7 km^2 , dont près de 75% est située au-dessus de 1800 m s.m., tandis que sa pente moyenne de 18% est particulièrement favorable à une grande capacité de transport solide. Il convient également de noter que 52% de la surface totale du bassin versant est constituée de surfaces glaciaires ou de pierriers (granite), qui n'ont toutefois que peu contribué à la formation de la crue d'octobre 2000.

Données hydrologiques

La crue d'octobre 2000 a servi de modèle pour la reconstitution d'hydrogrammes de projet (illustr. 1, selon Nigg et al., 2002).



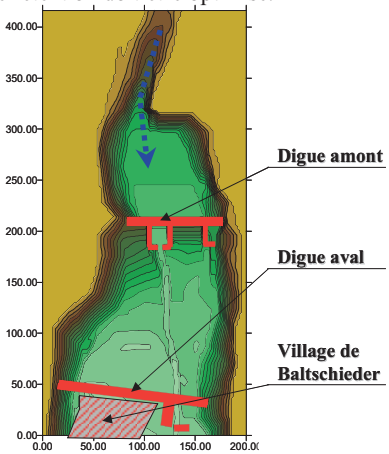
Illustr. 1: Hydrogramme et solidogramme reconstitués d'après la crue d'octobre 2000
Fig 1: Estimated arrived water and sediment discharge, flood of october 2000

Le débit de pointe de cette crue a été estimé à 105 m^3/s pendant environ 1 heure à l'entrée du village de Baltschieder et la durée totale de l'événement a été de près de 18 heures. La quantité de sédiments charriés par le torrent (classe gravier et composantes plus grossières) a été estimée à 100'000 m^3 et le débit critique entraînant l'érosion à 50-70 m^3/s. Le solidogramme a

été reconstruit sur la base des recherches décrites dans Jäggi et al., 2004. La crue extrême a été extrapolée d'après ces données: débit de pointe de 200 m^3/s, et volume total de sédiments charriés de 200'000 m^3 , pour une durée admise pour l'événement de 25 heures environ.

Retention des sédiments par la construction de pièges à graviers

La morphologie du torrent juste à l'amont du village de Baltschieder est telle que la capacité de transport solide du torrent est subitement réduite à l'emplacement d'une rupture de pente. Ainsi, lors d'une crue importante charriant un grand volume de sédiments, il est impossible d'assurer le transit de ces derniers jusque vers le Rhône. Les sédiments doivent donc être stockés dans un réservoir ayant une capacité suffisante. Toutefois, afin de limiter les coûts d'un tel ouvrage, son volume de rétention doit être optimisé.



Illustr. 2: Situation du piège à graviers de Baltschieder
Fig 2: Situation of the sediment reservoir of Baltschieder

Le concept de sécurité se basant sur la formulation d'objectifs de protection, il a été possible de prévoir un dispositif protégeant tous les biens et les personnes pour une crue centennale et minimisant les dégâts lors d'une crue extrême. Ce dispositif, composé de deux réservoirs en série, doit assurer le stockage de plus de 100'000 m^3 de sédiments dans le réservoir amont, fermé par une digue de 20 mètres de haut. Cela assure la protection de la zone située à l'aval de la digue pour une crue centennale, à condition que ce réservoir soit systématiquement vidé à la suite de crues conséquentes. Le réservoir aval, fermé par une digue d'une hauteur de 7 mètres, permet également le stockage de 60 à 80'000 m^3 lorsque ceux-ci ne peuvent plus être retenus par le réservoir amont (illustr. 2). Cette deuxième retenue artificielle permet ainsi la gestion des sédiments lors du passage d'une crue extrême et donc la minimisation des risques résiduels. Contrairement au réservoir amont, le réservoir aval pourra être utilisé comme zone de détente par la commune de Baltschieder. En effet, ce dernier ne devrait pas être inondé par des crues ayant un temps de retour inférieur à 50 ans environ.

Fonctionnement hydraulique de l'ouvrage

Le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage de protection contre les crues devait permettre d'abord la maximisation de l'efficacité du système et de la sécurité, et ensuite la minimisation des coûts d'exploitation. Le premier objectif pouvait être atteint en assurant la rétention de la

totalité des sédiments charriés par le torrent dans la limite des objectifs de protection fixés. Il fallait donc garantir non seulement un volume de stockage suffisant, mais aussi une répartition homogène des sédiments dans le réservoir afin d'éviter la formation de zones mortes ou non utilisées diminuant le volume de stockage effectif. Le deuxième objectif était atteint en évitant l'utilisation intempestive du réservoir, c'est-à-dire en diminuant sa fréquence de remplissage. En effet, après chaque remplissage du piège à graviers par des sédiments, son nettoyage complet est nécessaire afin de libérer l'intégralité du volume de stockage.
La solution la plus évidente permettant d'augmenter le volume de stockage est la surélévation de la digue et des ouvrages hydrauliques d'évacuation. Toutefois, cette solution présente des limitations liées aux coûts de construction et à l'intégration de l'ouvrage dans le paysage. Il était donc nécessaire lors de l'établissement du concept de protection contre les crues de placer les déversoirs d'évacuation le plus bas possible tout en conservant le volume de stockage nécessaire. Les premiers essais sur modèle ont permis l'optimisation de ces ouvrages d'évacuation, qui a abouti au projet définitif illustré ci dessous (illustr. 3).

Illustr. 3: Evacuateurs de la digue amont du piège à graviers de Baltschieder
Fig 3: Spillways of the upstream dam of the Baltschieder sediment reservoir

Lorsque le niveau d'eau dans le réservoir atteint la cote 676.88 m s.m., le déversement se produit en rive gauche. Un bassin amortisseur en béton permet la dissipation de l'énergie de l'écoulement, qui est ensuite acheminé à travers la digue aval puis finalement vers le Rhône. Si le niveau du réservoir continuer à monter, un autre déversement se produit au centre de la digue dès la cote 677.88 m s.m. La capacité totale des deux évacuateurs est supérieure à 200 m^3/s, correspondant au débit de pointe de la crue extrême.
Afin de permettre la rétention des sédiments, le réservoir amont doit être mis en charge lors de crues importantes où la capacité de transport solide ne pourrait plus être assurée en aval. Cela provoque alors une réduction importante des vitesses d'écoulement et permet la déposition des particules solides. Un orifice d'une section de 3.75 m^2 situé au fond du réservoir sous le déversoir central permet de mettre en charge le réservoir amont lorsque le débit atteint une valeur correspondant à la crue de temps de retour 20 ans environ. Des dépôts de sédiments sont toutefois créés par des crues faisant suite à des orages d'été sans que le réservoir ne soit mis en charge. Cette formation de dépôts dans le réservoir évite ainsi l'accumulation de sédiments dans le chenal de fuite, mais impose un entretien régulier du piège à graviers.
Le niveau d'eau du réservoir aval sera contrôlé de manière dynamique par les pompiers lors de la crue. Un orifice d'une section réglable sera en effet été installé qui permettra, lorsque les quantités de sédiments transitant à travers le réservoir aval seront trop importantes, de forcer leur déposition dans ce même réservoir. Par contre, pour les crues de temps de retour inférieur à 50 ans, le niveau d'eau ne montera pas dans le réservoir aval, qui ne sera donc en principe pas sollicité par l'écoulement et les matériaux solides.

ESSAIS SUR MODELE PHYSIQUE

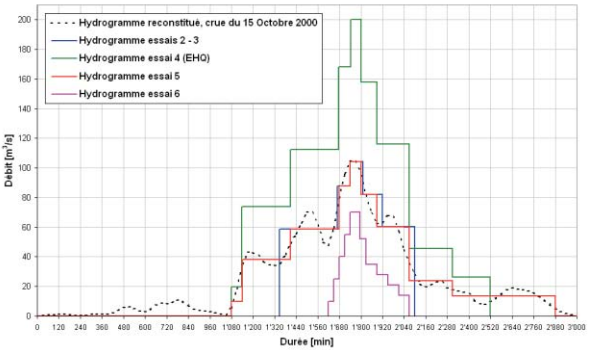
Programme des essais et méthodologie

Le programme des essais a été établi afin de permettre l'optimisation des ouvrages hydrauliques et la vérification du comportement de l'ouvrage pour plusieurs crues de projet. Le nombre d'essais programmés a été réduit au minimum, la réalisation de chaque essai étant particulièrement lourde, nécessitant la participation de six personnes. Le programme d'essais, décrit dans le tableau 1, présente les principaux paramètres des six essais effectués à Baltschieder.

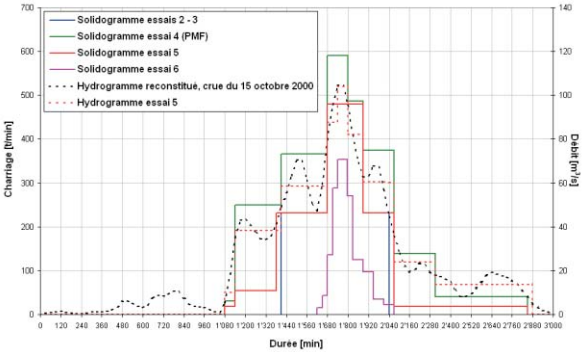
Tab. 1: Description des essais effectués à Baltschieder
Tab. 1: Description of the model tests

n°	*Description*	*Durée prototype*
1	Essai préliminaire, mise en eau	12 heures
2	Q_{2000}, hydrogramme court, projet	12 heures
3	Q_{2000}, hydrogramme court, mesures d'urgence	12 heures
4	Crue extrême (EHQ), projet	48 heures
5	Q_{2000}, hydrogramme complet, projet	48 heures
6	$Q_{T=20\ ans}$, projet	8 heures

L'essai n°1 a permis une première optimisation des ouvrages hydrauliques. Aucune mesure n'a été prise pendant cet essai, mais le dispositif de mesure a été adapté d'après les observations effectuées. Les essais n°2, et n°4 ont permis l'optimisation de tout le concept de sécurité, l'essai n°3 a permis la vérification du comportement des mesures d'urgence alors que les essais n°5 et n°6 ont servi de validation au projet définitif. Les différents hydrogrammes et solidogrammes introduits dans le modèle sont présentés dans les deux figures suivantes; les valeurs sont fournies à l'échelle prototype.



Illustr. 4: Hydrogrammes introduits lors des essais sur modèle
Fig 4: Input hydrograms for the physical modelling simulations



Illustr. 5: Solidogrammes introduits lors des essais sur modèle
Fig 5: Input sediment hydrograms for the physical modelling simulations

L'optimisation des ouvrages hydrauliques a permis la définition de l'altitude des crêtes des déversoirs ainsi que leur largeur. Elle a aussi mené à la définition de la géométrie de l'orifice d'évacuation. Les essais n°2, n°3 et n°4 ont de plus permis la vérification de la capacité de stockage du système complet.

Description du modèle physique et du système de mesure

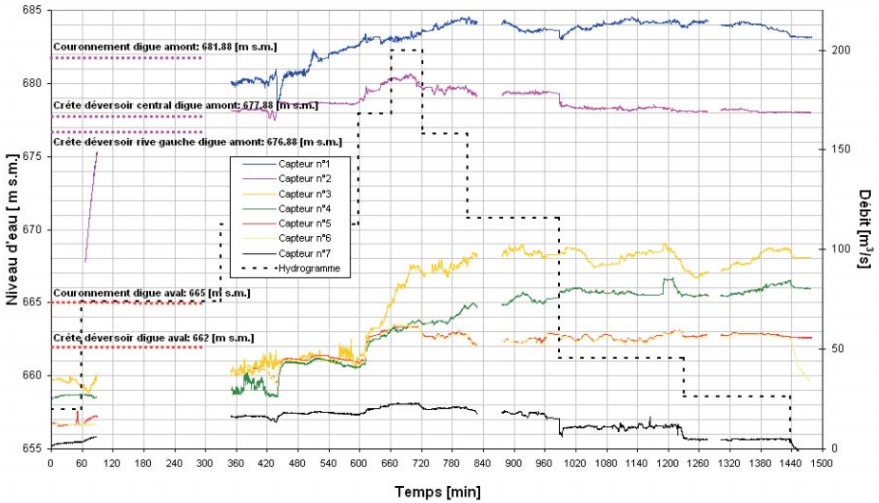
Illustr. 6: Situation des capteurs ultrasons pour la mesure des niveaux d'eau
Fig 6: Location of the ultrasound sensors for the measurement of the water levels

Le modèle physique a été implanté in situ, sur le site même de Baltschieder touché par la catastrophe en octobre 2000. Construit à l'échelle 1:35 et couvrant une surface approximative de 8 ha (prototype), il a permis la simulation de l'écoulement depuis sa sortie de la gorge jusqu'au premier pont menant à la partie supérieure du village, soit une surface lui permettant de développer complètement le dépôt de sédiments. Le modèle a été construit dans une cuve en béton armé, sa topographie étant réalisée par une surface en béton disposé sur un substrat graveleux. Les ouvrages hydrauliques tels que digues et évacuateurs ont été réalisés de façon modulaire en PVC et implantés lors de la construction du modèle.
Différents paramètres ont été mesurés lors des essais. Tout d'abord, les niveaux d'eau ont été mesurés en continu à l'aide de sept capteurs ultrasons disposés à la sortie de la gorge, dans les réservoirs ainsi que dans les cours d'eau (illustr. 6). Des mesures de vitesses d'écoulement ont ensuite été effectuées ponctuellement à l'aide d'une sonde électromagnétique mobile. La topographie des dépôts a été mesurée à la fin de chaque essai selon un réseau de points pré-

établi. De plus, la granulométrie des dépôts des réservoirs amont et aval a été analysée en laboratoire. Finalement, les observations visuelles ont été consignées sous forme de documents audio-visuels (photos et films).

Analyse du comportement hydraulique des ouvrages de protection

L'analyse des niveaux d'eau mesurés a montré le bon fonctionnement hydraulique du réservoir amont. En effet, même lors de la crue extrême, la revanche disponible (différence entre le niveau maximal du plan d'eau et le couronnement) est toujours au minimum de 1.50 m. Les essais ont donc démontré que des débordements massifs du plan d'eau par-dessus les digues n'étaient pas à craindre pendant les crues. De plus, ils ont permis de vérifier que la mise en charge du réservoir amont s'effectue aux alentours de 40 m^3/s.
Les mesures de vitesses d'écoulement effectuées le long de la rive droite du réservoir amont ont montré que celles-ci pouvaient atteindre 5 m/s localement durant la crue extrême, risquant de provoquer des érosions locales. Ces vitesses importantes menaient également à la formation de vagues pouvant localement déborder par-dessus la digue pendant la pointe de la crue (LCH, 2002).
Finalement, le réglage "manuel" de l'orifice d'évacuation du réservoir aval en début de crue (réduction de la section d'écoulement par abaissement d'une vanne segment) permet de précipiter sa mise en charge et de favoriser le dépôt des sédiments ayant réussi à transiter à travers la digue amont. En fin de crue, la section d'écoulement de l'orifice est à nouveau augmentée afin de permettre la vidange de ce bassin. A ce moment, une certaine quantité des sédiments déposés sont purgés vers le Rhône.



Illustr. 7: Niveaux d'eau mesurés lors de l'essai n°4 (EHQ)
Fig 7: Measured water levels during simulation n°4 (PMF)

Capacités de stockage des réservoirs

Les essais ont permis la mise en évidence de la marge de sécurité disponible en cas de crue grâce au nouvel aménagement. En effet, les objectifs de protection ont largement été dépassés dans le réservoir amont et par conséquent dans le système complet. Le tableau 2 présente le bilan des volumes de sédiments entrés, stockés et sortis des deux réservoirs. La somme du bilan ne donne pas zéro: les fortes incertitudes sur les volumes introduits ainsi que sur la mesure des dépôts ont entraîné des différences dont la plus importante est de 13% (essai n° 2). Toutefois, l'erreur moyenne par rapport au volume introduit (sans l'essai n°2) est de 3%, et permet de tirer des conclusions claires à partir de ces essais.
Le réservoir amont, dont la capacité de stockage avait initialement été estimée à 100'000 m^3, a été rempli de plus de 150'000 m^3 de sédiments (essai n°4). Dans le cas des autres essais dont le volume total entrant avoisinait les 100'000 m^3 , le bassin n'a jamais été totalement rempli et disposait toujours d'un volume de stockage encore disponible (illustr. 8). Il a de plus été observé que des crues moyennes pouvaient entraîner la formation de dépôts importants, érodés en fin de crue, et qui pouvaient mener au remplissage du chenal de fuite par des sédiments. Dans cette situation, la digue aval prend tout son sens et permet de retenir les sédiments avant qu'ils ne posent problème.

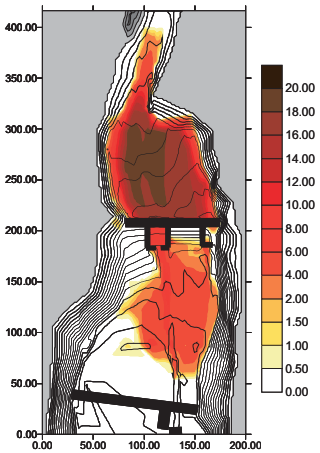
Tab. 2: Résultats des essais: volumes introduits, stockés et sortis du piège à graviers
Tab. 2: Results of the simulations: input, stored and output volumes of the sediment reservoir

n°	*Description*	*Volume introduit [m^3]*	*Volume stocké, réservoir amont [m^3]*	*Volume stocké, réservoir aval [m^3]*	*Volume sorti du système [m^3]*
1	Essai préliminaire	110'000	109'170	0	0
2	Q_{2000}, hydrogramme court, projet	95'000	82'350	0	0
3	Q_{2000}, hydrogramme court, mesures d'urgence	120'000	103'700	10'500	particules fines
4	Crue extrême (EHQ), projet	200'000	152'400	40'800	8'500
5	Q_{2000}, hydrogramme complet, projet	100'000	92'900	4'400	particules fines
6	$Q_{T=20\ ans}$, projet	40'000	34'950	2'600	0

Illustr. 8: Vue des réservoirs amont et aval à la fin de l'essai n°5 (Q_{100}, projet)
Fig 8: View of both the reservoirs after simulation n°5 (Q_{100}, final project)

La raison de cette augmentation de capacité de stockage provient du modèle de calcul utilisé pour l'évaluation de la capacité de rétention. Celle-ci était calculée en supposant le niveau supérieur du dépôt correspondant à la crête du déversoir principal et en faisant l'hypothèse d'une pente supérieure du dépôt nulle. Les essais ont montré que ces deux hypothèses menaient à des résultats trop conservateurs. En effet, les niveaux des dépôts se sont plutôt situés entre la crête du déversoir principal et le niveau d'eau produit pendant la plus longue durée de l'essai. Ensuite, la pente supérieure du dépôt a atteint des valeurs supérieures à 5% (LCH, 2002), permettant la création d'un important volume de stockage supplémentaire.

Risques résiduels



Illustr. 9: Topographie des dépôts à la fin de l'essai n°4 (EHQ). La légende indique la hauteur du dépôt [m].
Fig 9: Topography of the sediment deposits at the end of the simulation n°4. Legend: height of the deposits [m].

Les risques résiduels ont été essentiellement évalués à la suite de l'essai n°4 (EHQ). Cet essai a en effet montré que seuls 4% des sédiments introduits sont parvenus à transiter à travers tout le système et que si le réservoir amont était rempli de 150'000 m^3 , le réservoir aval pouvait en stocker bien plus que les 40'000 m^3 mesurés (illustr. 9). En effet, le volume libre de dépôts dans le réservoir aval était à la fin de cet essai très important. Pourtant, le volume transitant les deux bassins, - même s'il semble relativement faible avec 8'500 m^3 - arrivera dans le chenal aval de manière concentrée en fin de crue, ce qui pourrait provoquer des déversements locaux vers la fin d'un événement aussi extrême. Les essais montrent donc où se situent les limites du système. De plus, les essais pour lesquels la crue centennale avait été simulée ont montré que le projet définitif permettait d'éviter presque tout dépôt de sédiments dans ce réservoir aval. Les risques résiduels ont donc pu être limités au minimum: la zone naturelle prévue entre les deux digues sera partiellement recouverte de sédiments en situation de crue extrême, mais ne devrait être que faiblement touchée lors de crues présentant un temps de retour inférieur ou égal à 100 ans.

CONCLUSIONS

Les fortes crues peuvent avoir des conséquences désastreuses dans les vallées alpines, en particulier lorsque le transport solide est important. Dans le cas de Baltschieder en Valais, la crue a créé un dépôt de sédiments d'une épaisseur de plusieurs mètres recouvrant ou endommageant propriétés privées et infrastructures. Un concept de protection contre les crues a pu être élaboré en urgence tout en permettant son adaptation et son amélioration lors de la construction des ouvrages de protection.
Les essais sur modèle physique se sont montrés indispensables pour le choix des principaux paramètres de ce concept. Ils ont en effet mené à l'optimisation des ouvrages d'évacuation, à la vérification des capacités de stockage et du comportement hydraulique du système. Ils ont aussi permis à la population de venir observer le comportement de leur futur dispositif de protection contre les crues et de reprendre confiance dans la capacité des hommes à se protéger contre les éléments naturels.
Enfin, ce concept de protection contre les crues a entraîné la revalorisation d'une zone qui avait été développée dans l'ignorance du danger qui la menaçait. Celle-ci sera utilisée par la population locale comme zone de détente tout en permettant à certaines espèces de venir coloniser les rives du cours d'eau renaturé. Ce projet montre que des synergies fortes entre sécurité, économie et environnement peuvent être envisagées et offrent des solutions robustes pour atteindre plusieurs objectifs différents.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la commune de Baltschieder pour son soutien au projet, ainsi que l'Etat du Valais et l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie pour le financement de cette étude.

REFERENCES

Jäggi M., Nigg U., Teysseire Ph. (2004). "Die Sedimentkatastrophe von Baltschieder", *Internationales Symposion Interpraevent, Riva del Garda. Tagungspublikationen*. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent

LCH (2002). "Hochwasserschutzkonzept der Gemeinde Baltschieder: Modellversuche für das Geschieberückhaltebecken", *rapport technique LCH-EPFL n° 3/02*, Lausanne

Nigg U., Teysseire P., Jäggi M., Hegg Ch. (2002). "Baltschieder, Fallbeispiele, Hochwasser 2000", *Berichte des Bundesamts für Wasser und Geologie, Serie Wasser, Nr. 2*, Bern