

Effet des bois flottants obstruant un évacuateur de crue dans des conditions extrêmes

Autor(en): **Pfister, Michael / Bénét, Loïc / De Cesare, Giovanni**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **112 (2020)**

Heft 2

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941688>

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.

Effet des bois flottants obstruant un évacuateur de crue dans des conditions extrêmes

Michael Pfister, Loïc Bénét, Giovanni DeCesare

Résumé

Le transport de bois flottants peut induire des obstructions aux ouvrages hydrauliques et limiter leurs fonctionnalités et leurs capacités de décharge. Le blocage de l'entrée d'un évacuateur de crue d'un barrage par des bois flottants représente un risque particulier.

La présente étude examine, sur la base de la modélisation physique, ce blocage et ses conséquences. Plus précisément, les bois flottants sont introduits dans un modèle réduit en amont d'un déversoir standard vanné, mais ouvert, et leur blocage ainsi que l'augmentation subséquente du niveau de la retenue sont étudiés. Un accent particulier est mis sur les événements extrêmes en termes d'occurrence de bois flottants, de dimensions et de débits.

Sans aucune contre-mesure prise, l'efficacité du déversoir est réduite et le coefficient du déversoir s'approche d'une constante inférieure à un fonctionnement non perturbé, lorsqu'un volume de bois déterminant est bloqué. Il a été constaté qu'une barrière de bois se forme proche du déversoir.

Des installations techniques pourraient être envisagées afin d'éviter que les troncs se bloquent au niveau de la crête du déversoir et perturbent l'écoulement, comme le déplacement des têtes de piliers dans le réservoir, l'enlèvement des piliers ou l'installation d'un râtelier. Les effets hydrauliques attendus, à savoir l'éloignement de la zone d'accumulation de bois flottants en amont de la section d'écoulement critique, ou le passage des troncs sembleraient se confirmer lors des expériences.

1. Introduction

L'encombrement d'un déversoir par des bois flottants peut être dangereux et hasardeux. Le caractère aléatoire du phénomène a été reconnu comme un aspect crucial. Les volumes et dimensions de bois flottants qui pourraient arriver à l'entrée de l'évacuateur de crue sont difficiles à déterminer (OFEV, 2019), de même que leur comportement local près de l'entrée de l'évacuateur de crue et leur mode d'accumulation. Peu d'études se sont concentrées sur le fait que les bois flottants peuvent arriver comme tapis compact et obstruer complètement les évacuateurs de crue. Le focus des tests documentés dans la littérature est plutôt mis sur la probabilité de blocage pour une arrivée successive des bois flottants ou sur des solutions spécifiques à chaque site.

Godtland et Tesaker (1994) ont effectué des essais préliminaires avec des bois flottants sur un déversoir avec ou sans pont sur l'arête du déversoir. Selon eux, la

probabilité de passage des bois flottants augmente avec l'augmentation du débit. Pour éviter une immobilisation de plus de 10 % à 20 % des bois flottants au droit des déversoirs, les murs de séparation des passes du déversoir qui servent aussi de piles de pont, doivent être espacés d'au moins 80 % de la longueur maximale des troncs susceptibles d'arriver. La hauteur libre entre la crête et le pont doit être au moins de 15 % à 20 % de cette longueur.

Johansson et Cederström (1995) ont étudié sur un modèle physique le passage des bois flottants. Ils décrivent qu'un seul arbre a la plus forte probabilité de passer. Si deux troncs arrivent simultanément, la probabilité de passage diminue. Une augmentation relative de la charge hydraulique en amont jusqu'à 10 % a été observée en raison de l'encombrement.

Hartlieb (2012a, b) a effectué des essais de modélisation physique. Le débit, la profondeur d'écoulement et le régime du déversoir (ouvert ou fermé) étaient systématiquement variés. Il conclut que la vi-

tesse d'écoulement d'approche est de faible importance sur la probabilité de blocage, tandis que la longueur relative du tronc est pertinente. Quant à l'augmentation de la charge hydraulique, il décrit que cette dernière augmente avec la présence de bois flottants.

Pfister et al. (2013) présentent une étude sur modèle réduit liée aux déversoirs à touches de Piano (PWK). La probabilité de blocage d'un seul tronc est fonction de la charge hydraulique et du diamètre du tronc. Dans le cas d'une retenue en amont, les troncs franchissent généralement le PKW si la profondeur critique d'écoulement est supérieure au diamètre des troncs. En ce qui concerne les essais avec un volume constitué de bois flottants, il a été démontré que l'accumulation est généralement faible, si bien que l'augmentation absolue du niveau d'eau est faible.

Furlan (2019) a quantifié l'influence des caractéristiques des bois flottants et des conditions hydrauliques sur la probabilité de blocage dans les évacuateurs de crue. La densité des troncs, le diamètre des troncs par rapport à la charge hydraulique sur le déversoir, le nombre de passes ouvertes et le rapport entre la longueur des troncs et la largeur des passes influencent la probabilité de blocage des troncs individuels. De plus, il a été constaté que l'augmentation de la taille d'un groupe de troncs, par rapport à un tronc individuel, modifie la probabilité de blocage uniquement lorsque la longueur relative du tronc est supérieure à la largeur de la passe.

Schalko et al. (2019) ont réalisé des essais sur modèle réduit pour des blocages de bois flottants en rivière. Selon les résultats obtenus, le blocage créé par les bois flottants dépend principalement du nombre de Froude d'entrée, de la compacité du blocage et de la proportion de matériaux fins. La forme du lit de la rivière peut également être prise en compte avec un facteur type. De plus, il est possible de déterminer le volume caractéristique des bois flottants qui conduit à l'accumulation



décisive et de calculer ainsi l'influence du volume de bois flottants sur l'accumulation. Les résultats présentés sont utiles pour le dimensionnement des râteliers.

Les structures visant à réduire l'impact du bois flottant sont nombreuses et généralement liées à un cas particulier. *Hartung et Knauss (1976)* ont proposé un déversoir composé d'une entrée principale de 15 m de longueur et de deux passes latérales, qui brise les troncs longs et les oriente dans le sens de l'écoulement. De plus, des solutions ont été étudiées pour retenir les bois flottants dans le réservoir et maintenir ainsi l'entrée libre. *Perham (1986)* discute des mesures à prendre pour maintenir les grilles libres aux entrées des évacuateurs de crue. *Schmocker et Hager (2013)* présentent une étude de modèle physique sur l'accumulation de bois flottants sur les râteliers. Les bois flottants n'ont qu'un effet mineur sur l'augmentation du niveau d'eau résultant. *Hartlieb et Bezzola (2000)*, ainsi que *Lange et Bezzola (2006)* présentent un résumé des grilles et des filets construits. *Möller et al. (2009)* décrivent le concept d'un déversoir latéral pour la Matteschwelle à Berne. *Pfister (2010)* décrit le râtelier longitudinal avec une zone de stockage pour les bois flottants sur l'ouvrage d'entrée de la galerie de dérivation à Lyss. *Schmocker et Weitbrecht (2013)* présentent une vue d'ensemble de l'analyse des risques et des mesures de rétention de bois flottants dans les grandes rivières alpines, comme par exemple un système de bypass. *Schmocker (2017)* a réalisé des essais sur modèle réduit d'un déversoir à deux passes. Sans une contre-mesure avec une mise en place naturelle des troncs, une élévation relative de la hauteur de chute allant jusqu'à 30 % a été observée en raison des passes obstruées. Avec une contre-mesure, un râtelier positionné légèrement en amont du déversoir, l'élévation relative est de moins de 10 %. En cas de compactage manuel des bois flottants, une augmentation de la hauteur de chute de 40 % a été constatée sans une contre-mesure, contre 10 % pour la mise en place du râtelier. *Lassus et al. (2019)* ont résumé des études de modèles tirées de la littérature et les ont complétées par leurs propres simulations numériques. Ils ont trouvé un accord global et ont spécifié que la réduction des rejets sur une crête de déversoir standard équipée d'un râtelier, était de 7 à 22 %, fonction de la densité des bois flottants, du type de râtelier et de la charge hydraulique de référence.

La présente étude se concentre donc sur une occurrence extrême de bois flot-

tants, lorsqu'ils forment un tapis, proche du déversoir en activité. En parallèle, des débits extrêmes—incluant le débit de dimensionnement du déversoir—sont considérés. L'augmentation de la charge, se répercutant sur le niveau d'eau dans la retenue, est prise en compte, quand l'accumulation de bois est à son maximum.

2. Modèle réduit

2.1. Canal

Des expériences ont été effectuées dans un canal droit et horizontal de 10 m de longueur, de 1,50 m de largeur et de 0,70 m de hauteur, qui se trouve à la Plateforme de Constructions Hydrauliques (PL-LCH) de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Un déversoir standard comprenant des piliers, est installé transversalement à l'aval du canal. La charge de dimensionnement du déversoir du modèle est $H_D = 0,15$ m. Le niveau de crête du déversoir est de $W = 0,42$ m au-dessus du fond du canal. Selon *Vischer et Hager (1999)*, le niveau de crête du déversoir W doit être plus grand que le double de la charge de dimensionnement H_D , pour éliminer l'effet de la vitesse d'approche sur la courbe de tarage, ce qui est toujours le cas dans cette étude.

Des piliers à tête ronde d'une épaisseur de 0,04 m sont disposés sur le déversoir. Ils peuvent être déplacés dans le sens de largeur du canal pour créer des passes de largeur choisie. Le déversoir et les piliers ont été fabriqués en PVC. La *Figure 1* montre un schéma du déversoir et donne la nomenclature appliquée dans cette étude. La *Figure 2* montre le canal et le déversoir.

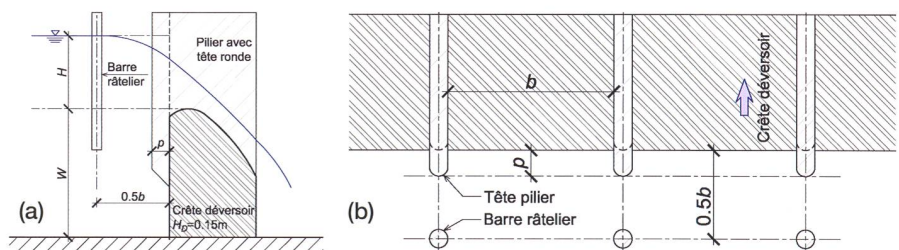


Figure 1: Schéma du déversoir et nomenclature, (a) coupe, et (b) vue en plan.

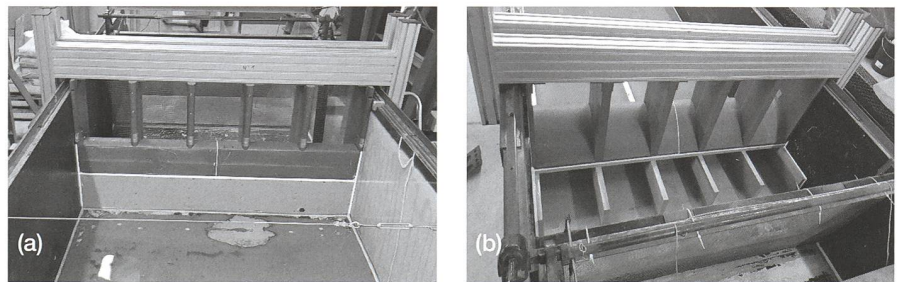


Figure 2: Vues depuis (a) l'amont et (b) l'aval du canal avec le déversoir à l'extrémité aval.

Une structure de type nid d'abeilles a été placée à 6 m en amont du déversoir pour assurer un écoulement homogène le long du canal. Il est constitué d'une grille métallique et de couches de géotextile. De plus, une plaque flottante de mousse de polystyrène a été placée pour éviter les vagues à la surface de l'eau.

2.2. Bois

La composition des volumes de bois flottants (*Figure 3*) est représentative des différentes longueurs L et diamètres D des troncs. Afin de déterminer les caractéristiques des dimensions, les études de *Bezzola et Hegg (2007)* et *Rickli et Hess (2009)* ont été utilisées. *Rickli et Hess (2009)* représentent la présence des bois flottants dans les lits des cours d'eau et caractérisent le boisement de rive. La caractéristique des bois de notre étude suit la courbe de *Rickli et Hess (2009)* dans la logique d'une considération extrême. Les bois testés sont ainsi généralement longs, et pas encore dégradés par un torrent.

Les troncs ont été répartis en neuf classes de taille (*Figure 4*). Les bois flottants ont été fournis par lots de volumes V , résultant dans des volumes testés de 1 V , 2 V et 4 V . Le volume de référence V a été choisi dans l'idée de représenter un événement extrême, étant en-dessus du volume caractéristique qui conduit à l'accumulation décisive (*Schalko, 2019*).

Une échelle géométrique typique du modèle pourrait être défini comme 1:35. Ainsi, 1 V représente un volume de bois (bois massif) de 410 m^3 , 2 $V = 820 m^3$ et 4 $V = 1640 m^3$ de bois. Un groupe de 1 V est composé de 690 troncs et 20 souches.

Les lots de 2V et 4V sont les multiples correspondants. Dans le modèle réduit, la longueur des troncs varie entre $L=0,100\text{m}$ et un maximum de $L_M=0,433\text{m}$, ce qui correspond à des dimensions entre 3,50m et 15,20m in situ. La densité des bois du modèle n'est pas explicitement déterminée.

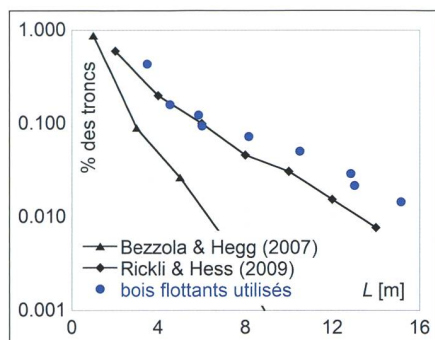


Figure 3: Comparaison entre la caractéristique des bois flottants utilisés dans cette étude et les relevés in situ.

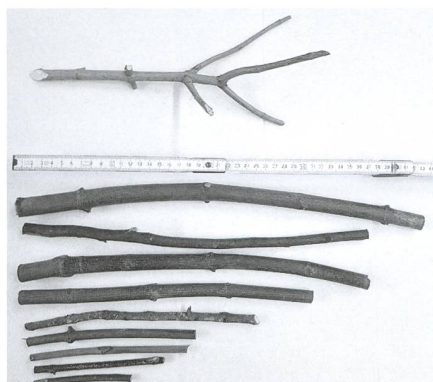


Figure 4: Illustration des troncs de chaque classe.

In situ, les bois flottants peuvent se briser en raison d'interactions avec d'autres troncs. Sur le modèle réduit, les troncs produisent rarement la force nécessaire pour casser d'autres troncs. Ainsi, seul le mouvement des troncs a été simulé et non la dégradation mécanique ou la flexion. De plus, la rugosité du bois n'est pas identique car les troncs ne sont pas écorchés (à cause du transport, les troncs présentent des irrégularités à la surface de l'écorce) comme en réalité. Cependant, la surface et la forme des troncs restent naturelles. Les feuilles, les branches et les petits troncs ne sont pas présents sur le modèle réduit. Leur influence n'est donc pas prise en considération.

2.3. Validation du modèle

L'équation du déversoir donne la courbe de tarage (débit Q vs. charge H) comme suit (Vischer et Hager, 1999)

$$Q = C_d b_e \sqrt{2gH^3} \quad (1)$$

où C_d est le coefficient du déversoir, b_e est la largeur hydraulique effective (nombre de passes multipliées avec leur largeur, en déduisant l'effet de concentration généré par les piliers), et g est l'accélération de la gravité.

Vischer et Hager (1999) détaillent le coefficient du déversoir C_d en fonction de la charge relative χ

$$\chi = \frac{H}{H_D} \quad (2)$$

où H est la charge pour un certain débit, et H_D est la charge de dimensionnement du profil standard (ici $H_D=0,15\text{m}$) comme

$$C_d = \frac{2}{3\sqrt{3}} \left(1 + \frac{4\chi}{9+5\chi} \right) \quad (3)$$

La courbe de tarage calculée a été vérifiée par des essais de validation pour chaque configuration du modèle. Le modèle a fonctionné uniquement avec un débit d'eau, sans bois flottants, lors des tests préliminaires (Figure 5). Cette validation implicite des paramètres mesurés est exprimée en comparant la courbe de tarage calculée sur la base de C_d selon l'équation (3) (Vischer et Hager, 1999).

La Figure 5 démontre que les points des tests (Q et H sont mesurés) sont voisins de la courbe calculée du déversoir. Une faible sous-estimation du coefficient C_d pour des faibles débits (faibles valeurs de χ) est observée. Cela est lié à la surestimation de la viscosité et de la tension superficielle sur le modèle, qui surélève le niveau de la retenue et réduit ainsi C_d .

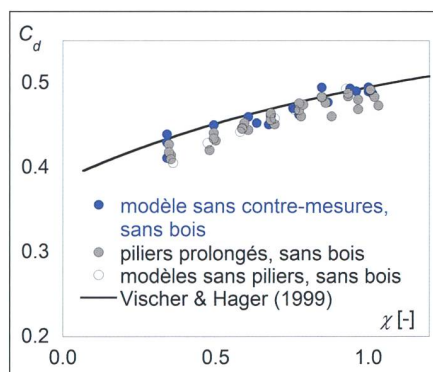


Figure 5: Courbe de tarage mesurée sans bois flottants (points), et valeurs calculées selon Vischer et Hager (1999, ligne) comme validation du modèle.

2.4. Paramètres variés

Les paramètres clés pour le blocage ressortant de l'étude de littérature ont fait l'ob-

jet d'une variation systématique. Un seul paramètre est varié à la fois et chaque paramètre possède trois paliers de valeurs distinctes pour en estimer son influence. Trois charges ont été imposées dans le canal ($H_1=0,05\text{m}$ étant $\chi=0,33$, $H_2=0,10\text{m}$ étant $\chi=0,67$ et $H_3=H_D=0,15\text{m}$ étant $\chi=1$) et les débits correspondants mesurés. Les trois paliers définis servent comme débit de référence pour les essais. Le volume de bois flottants ajouté au modèle réduit a fait l'objet d'une variation (1V, 2V, ou 4V). Quatre largeurs des passes ont été testées, notamment $b=0,175\text{m}$, $b=0,260\text{m}$, et $b=0,335\text{m}$ comme largeurs standards, et $B=b=1,500\text{m}$ comme exception dans le contexte du déversoir sans piliers. Toutes les passes ont la même largeur pour un essai. Le rapport b/L_M a donc pour valeur 0,40, 0,60 et 0,77. Ces rapports ont été choisis de manière que le critère de Godtland et Tesaker (1994) ne soit pas respecté et qu'un blocage se produise, de nouveau dans le contexte de la considération des extrêmes.

Pour ce qui concerne les mesures contre un effet dominant d'un blocage, les installations suivantes ont été testées. La position des piliers dans le réservoir est modifiée: $p=0,00\text{m}$ (les têtes des piliers sont alignées avec le front vertical du déversoir, Figure 1), $p=0,04\text{m}$ (les piliers sont prolongés de 0,04m dans le réservoir), et $p=0,08\text{m}$ (prolongés de 0,08m). Une variante sans piliers a été étudiée, la largeur du déversoir correspond à la largeur du canal ($b=B=1,50\text{m}$), tous les piliers sont supprimés. La mise en place d'un râtelier complet ou partiel à l'amont du réservoir a été testée comme troisième installation.

La procédure de test est la suivante: (1) Le canal est rempli avec de l'eau aux deux tiers de W (Figure 1), le débit est nul ($Q=0\text{m}^3/\text{s}$). (2) Le volume de bois flottants souhaité (1V, 2V ou 4V) est ajouté dans le réservoir. Les troncs sont mélangés et brassés pour qu'ils forment un tapis homogène à la surface de l'eau. (3) Quelques troncs les plus longs ($L_M=0,433\text{m}$) sont partiellement positionnés perpendiculairement aux piliers à l'entrée des passes pour initier le blocage (environ un gros tronc par passe). (4) Le débit est ensuite augmenté de manière prudente. (5) Les bois flottants qui franchissent le déversoir sont ajoutés à l'amont dans le réservoir. Environ dix minutes sont laissées pour que le tout se stabilise. Ainsi, le volume bloqué correspond toujours au volume de bois flottants ajouté. (6) Les photographies sont prises de manière systématique. Les mesures sont effectuées et la

fiche de test est remplie. Le premier essai est terminé. Pour effectuer l'essai suivant, le débit est augmenté progressivement jusqu'au deuxième palier et l'ensemble de la procédure est répétée.

2.5. Nombre de répétitions des tests

Furlan (2019) a recommandé de répéter plusieurs fois des essais identiques sur les bois flottants pour obtenir une pertinence statistique. Le nombre de répétitions nécessaires diminue cependant avec la taille des lots. Le nombre maximum de troncs par lot testé par Furlan (2019) était de 32, pour lesquels 10 répétitions ont été proposées pour satisfaire un intervalle de confiance de 10 % concernant la probabilité de blocage. Dans la présente étude, des lots de troncs de 690 (1 V) à 2760 (4 V), plus 20 à 80 souches, ont été testés, ce qui suggère clairement que moins de 10 répétitions de test sont nécessaires.

Les trois premiers essais ont été réalisés quatre fois pour comparer le résultat en termes de coefficient du déversoir C_d (dérivé du H mesuré) en fonction du débit (exprimé avec χ). Une analyse statistique a montré que l'écart maximal par rapport à la valeur moyenne de toutes les mesures effectuées sur χ est inférieur à $\pm 2\%$. Un écart de 3.8 % au total semble acceptable, de sorte que tous les autres tests ne sont effectués qu'une seule fois, sans répétition.

3. Essais sans contre-mesures

Les troncs les plus longs ($L_M=0,433\text{m}$) définissent les conditions initiales de blocage. Ce tronc bloque de manière autonome, ou est positionné si nécessaire. Avec la mise en place d'un débit ($Q>0\text{m}^3/\text{s}$), d'autres troncs (typiquement $0,300\text{m}\leq L\leq 0,433\text{m}$) et des souches viennent de manière naturelle et aléatoire s'ajouter pour obstruer les passes (Figure 6a).

L'eau qui franchit le déversoir passe en majeure partie en dessous des bois flottants. Les troncs qui ont initialement pro-

voqué l'obstruction se retrouvent à débit «important», quasiment voire complètement immergés. Ils subissent la pression des bois flottants qui les recouvrent. Un «tapis» (Figure 6b) est formé par les bois flottants retenus à la surface de l'eau en amont de l'évacuateur de crue.

Plus la quantité de bois flottants est grande, plus les troncs entre eux se «compactent» et le tapis devient plus «rigide» dans son ensemble. Les troncs de plus petites dimensions ont également plus de difficultés à se faufiler entre leurs homologues de tailles plus importantes. La Figure 7 montre les tests avec 1 V, 2 V ou 4 V, en vue de situation. On constate que lors du test avec 1 V, l'extension horizontale du tapis en amont est plus faible que lors du test 2 V, et c'est encore plus prononcé avec le test 4 V.

L'élévation du niveau d'eau dans la retenue n'est quasiment pas fonction de l'augmentation du volume de bois flottants bloqué (de 1 V à 4 V). La surélévation obtenue est presque identique malgré la différence de volume de bois flottants. Une variation du volume de bois flottants n'a pas d'impact significatif sur le coefficient C_d qui devient quasiment constant. Cela signifie aussi que les volumes testés étaient suffisamment grands pour toujours représenter le cas d'un blocage extrême et complet (Schalko 2019).

Avec des volumes extrêmes 4 V de bois flottants, un blocage complet se forme rapidement quand le rapport b/L_M est «petit» ($b/L_M=0,40$). Il a été observé que le blocage était plus stable et le nombre de troncs qui franchissaient le déversoir étaient moindres pour des passes étroites. Des passes plus larges que $b/L_M\geq 0,80$ n'ont pas été installées, pour respecter le critère de Godtland et Tesaker (1994) et garantir un blocage complet.

Un effet mineur de la largeur des passes devient visible. Il est intéressant de noter que, par tendance, les passes «étroites» ($b/L_M=0,40$) génèrent légèrement moins de surélévation de la retenue, alors que les

passes «larges» ($b/L_M=0,77$) augmentent un peu plus la charge. Selon la littérature, la largeur des passes est le paramètre le plus sensible pour un blocage sous une faible arrivée de bois flottants. Les résultats ont montré que l'effet de la largeur des passes sur un blocage complet n'est pas aussi déterminant lorsque les conditions sont extrêmes.

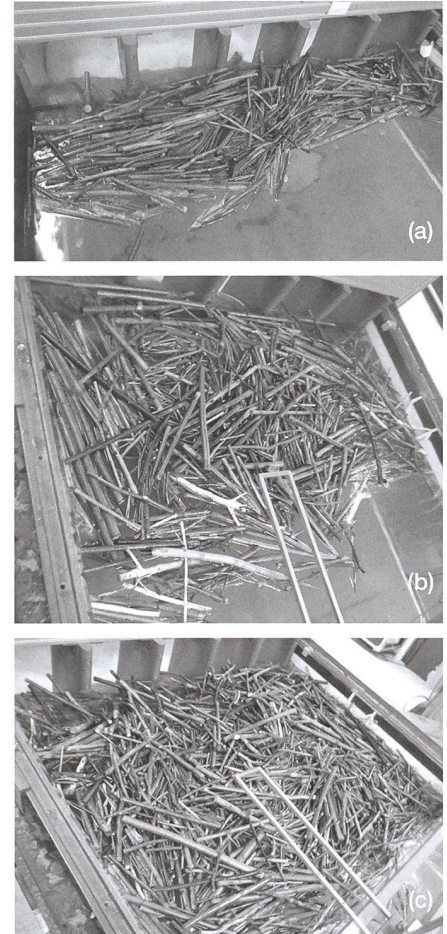


Figure 7: Effet du volume de bois flottants, vue de situation; (a) test avec 1 V, (b) test avec 2 V et (c) test avec 4 V.

Dans l'interprétation des paramètres testés, il a été conclu qu'aucun des trois paramètres-clés (débit, volume de bois flottants et largeur des passes) pris en considération ne crée des phénomènes dominants dans la surélévation de la charge lorsque le déversoir est complètement obstrué.

Sur la Figure 8, la tendance de C_d pour les différents essais avec des corps flottants est quasiment horizontale. La courbe de référence (Vischer et Hager, 1999) correspond à la courbe de tarage du déversoir sans bois flottants. Les petits $\chi\approx 0,33$ (petits débits) avec des vitesses d'écoulement relativement faibles à l'amont du déversoir (où le blocage est initié) produisent un C_d légèrement réduit. Les bois flottants

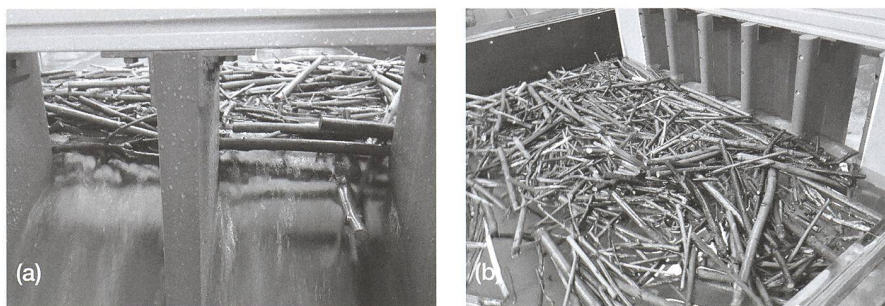


Figure 6: (a) Troncs créant le blocage, et (b) tapis formé par les troncs en amont du déversoir.

près des piliers sont distribués horizontalement en une à deux couches au maximum. Les troncs gênent peu l'écoulement (espaces disponibles dans le tapis). Avec l'augmentation à $\chi \approx 0,67$ (débits moyens), la vitesse d'écoulement augmente parallèlement à la force transposée aux bois flottants, de sorte que le blocage devient plus compact, menant à un C_d clairement réduit. Au droit des piliers, les bois flottants forment une barrière plus dense. Les troncs se rapprochent de la crête du déversoir et perturbent le déversement, qui a pour conséquence la création d'une surélévation du plan d'eau. Pour les grands $\chi \approx 1$ (grands débits), le blocage était déjà complètement établi auparavant (vers $\chi \approx 0,67$) et ne change pas sa structure. En effet, tous les troncs ne peuvent pas prendre place devant le déversoir. Les troncs suivants se disposent en tapis dans le réservoir et ce ne sont pas eux qui perturbent majoritairement le fonctionnement de l'évacuateur de crue.

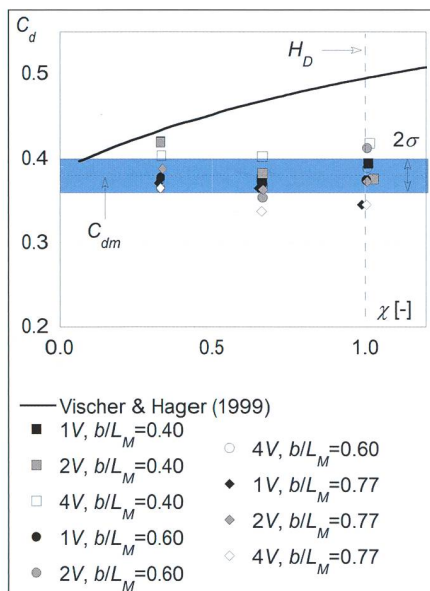


Figure 8: Ensemble des coefficients C_d pour les tests sans contre-mesures.

Avec un volume «déterminant» de bois flottants bloqués, la surélévation de la retenue est en moyenne à 114 % comparé à la charge correspondante sans bois flottants. La charge s'est élevée dans les tests au maximum à 121 %.

Dès qu'un blocage complet est généré sur le déversoir, les coefficients C_d mesurés tendent vers une constante. Il n'y a pas de liens évidents entre les différents paramètres variés. Sur la Figure 8, la plupart des coefficients C_d reste entre les deux bornes de l'écart-type et la dispersion des valeurs est relativement faible. Le coefficient du déversoir vaut alors en moyenne

$C_{dm} = 0,38$, lorsqu'un volume de bois flottants déterminant est bloqué. L'écart-type s'élève à $\sigma = 0,02$. La valeur minimale vaut $C_d = 0,34$ et la valeur maximale $C_d = 0,42$.

Pour le contrôle des évacuateurs de crue existants, le coefficient du déversoir (du côté de la sécurité) C_{dD} pourrait être ainsi le suivant

$$C_{dD} = C_{dm} - \sigma = 0.38 - 0.02 = 0.36 \quad (4)$$

Ce coefficient s'applique jusqu'au débit de dimensionnement et pour un déversoir complètement bloqué avec des piliers et $b/L_M < 0,8$, donc pour des conditions extrêmes. La comparaison de la valeur de C_{dD} du déversoir obstrué (Equation 4) avec celle du même déversoir sans bois flottants (Equation 3) indique l'augmentation supplémentaire du niveau de la retenue due au blocage du bois flottant.

4. Essais avec contre-mesures

4.1. Têtes des piliers prolongés dans le réservoir

Les piliers ont été équipés d'éléments qui permettent de déplacer leur tête dans le réservoir. Un des effets suggérés de cette contre-mesure est de bloquer les bois flottants contre le front amont des piliers afin de les éloigner de la section d'écoulement critique. Un espace pour l'écoulement de l'eau serait disponible entre le déversoir et les troncs bloqués contre les piliers. Le surplomb de la tête des piliers p (Figure 1) est testé comme $p = 0\text{ m}$, $0,04\text{ m}$, et $0,08\text{ m}$. Il est exprimé par rapport à la charge hydraulique sans bois flottants H ce qui permet d'exprimer le facteur p/H . Dans cette étude, p/H est compris entre 0 et 1,64. On constate lors des essais que quand $p = 0,08\text{ m}$ et donc «grand», les bois flottants sont bloqués plus en amont par rapport à $p = 0,00\text{ m}$ «zéro».

Les tests ont mis en évidence un effet positif de l'allongement de la tête des piliers p dans le réservoir. Plus il est grand, moins le C_d est affecté par les bois flottants bloqués. La Figure 9 montre la courbe de tarage du déversoir C_d en fonction de χ pour les trois configurations de têtes de piliers testées. Toutes les données des «grands» allongements (symboles ouverts) se rapprochent de la courbe de référence sans bois flottants (Vischer et Hager, 1999), alors que les essais où la tête des piliers est contre le déversoir «zéro» (symboles noirs) indiquent des valeurs C_d fortement réduites. Pour résumer, l'effet d'un blocage complet dans les conditions extrêmes testées ici était faible si $p/H > 0,35$.

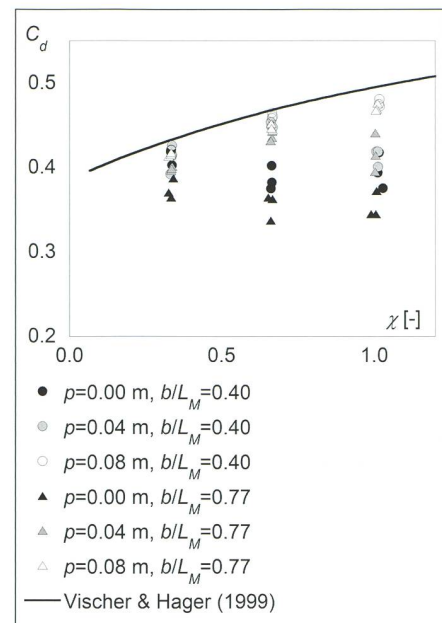


Figure 9: Coefficients C_d en fonction de χ pour un prolongement de la tête du pilier.

4.2. Déversoir sans piliers

Tous les piliers du déversoir ont été supprimés. La Figure 10a montre la configuration testée. La procédure d'essai a dû être modifiée, puisqu'un blocage complet ou partiel ne pouvait être maintenu que dans le cas des plus faibles débits. Ce dernier a donc été augmenté par très petits pas (environ $Q = 0,005\text{ m}^3/\text{s}$ chacun), jusqu'aux valeurs pour lesquelles tous les bois flottants ont passé la crête du déversoir et le blocage a ainsi disparu.

Sans piliers, les troncs positionnés naturellement horizontalement ne font face à aucun obstacle vertical, de sorte qu'aucun blocage n'est imposé. Les bois flottants ne touchent que la crête du déversoir orientée transversalement, du moins pour les faibles débits. Les troncs se «posent» sur la crête du déversoir pour des faibles charges (Figure 10b).

En augmentant le débit par petits pas, le tapis formé par les troncs à la surface de l'eau est rapproché du déversoir, jusqu'à le franchir entièrement. A chaque pas d'augmentation du débit, un certain nombre de troncs franchissent le déversoir, jusqu'à ce que des troncs mieux enchevêtrés entre eux se bloquent contre la crête du déversoir.

La Figure 11 montre les coefficients du déversoir C_d obtenus en fonction de χ . L'efficacité du déversoir est réduite tant qu'il y a des bois flottants retenus à l'arrière dans le réservoir ($\chi < 0,35$ environ). Lorsque l'ensemble du tapis franchit le déversoir ($\chi > 0,35$ environ), la capacité de décharge de l'évacuateur de crue n'est

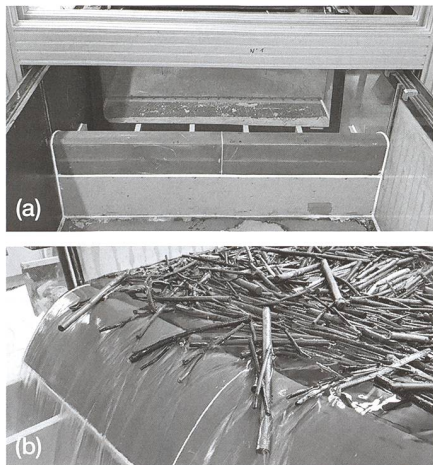


Figure 10: (a) Configuration testée pour le déversoir sans piliers, et (b) Troncs posés sur la crête du déversoir lors d'un faible débit.

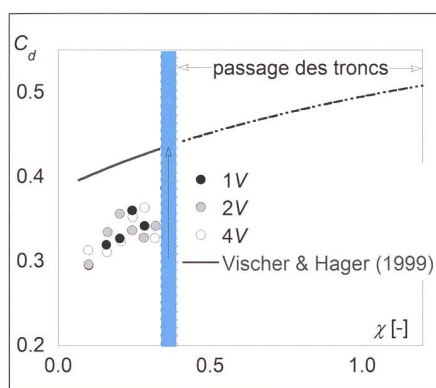


Figure 11: Coefficients du déversoir C_d en fonction de χ pour un déversoir sans piliers.

plus entravée et correspond alors approximativement à la courbe de référence. Trois régimes ont été observés avec le rapport de la charge relative au diamètre du tronc le plus grand D_M/H : (i) un blocage complet pour $D_M/H > 0,60$, (ii) un passage de tronc individuel pour $0,35 \leq D_M/H \leq 0,60$, et (iii) un déversoir libre sans blocage pour $D_M/H < 0,35$.

4.3. Râtelier

Un râtelier a été placé en amont du déversoir. Le râtelier est constitué de barres circulaires de 0,04 m de diamètre qui prennent place devant les piliers soit (1) de manière «complète» (Figure 12a), soit (2) de manière «partielle» (Figure 12b). L'espacement axial entre les barres est de b pour la configuration complète et $2b$ pour la configuration partielle. Le râtelier se situe à $0,5b$ en amont de la crête du déversoir. Les têtes des piliers se trouvent à fleur du déversoir $p = 0,00$ m.

Avec le râtelier complet, une barre se trouve devant chaque pilier. Ce râtelier agit de la manière que la tête des piliers prolon-

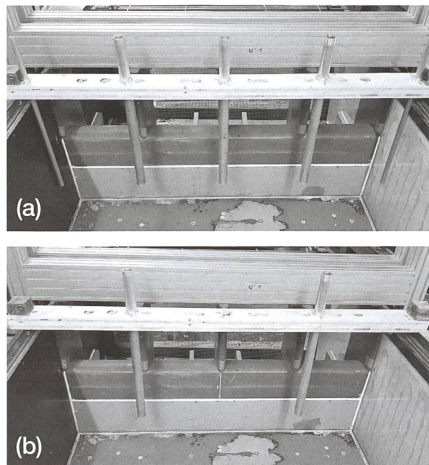


Figure 12: Râtelier (a) complet et (b) partiel.

gées en amont dans le réservoir (effet identique comme pour les têtes de piliers prolongées dans le réservoir). Avec le râtelier partiel, une barre est placée devant chaque deuxième pilier. Il est suggéré que cette disposition favorise éventuellement la rotation des bois flottants isolés, de sorte que quelques troncs pourraient éventuellement passer la crête du déversoir sans se bloquer.

Pour le râtelier complet, les observations sont similaires à celles du déplacement de la tête des piliers dans le déversoir (chapitre 4.1). Les troncs sont venus s'appuyer contre les barres du râtelier. Les premiers troncs bloqués se retrouvent éloignés de la crête du déversoir (Figure 13a), ce qui laisse un espace pour l'écoulement de l'eau.

Pour le râtelier partiel, les troncs n'ont pas systématiquement pivoté autour des barres. Des troncs se sont retrouvés bloqués contre les barreaux du râtelier et les piliers (Figure 13b). Le tapis de bois flottants est trop compact pour permettre systématiquement aux troncs de s'orienter dans le sens du courant. Cela est éventuellement

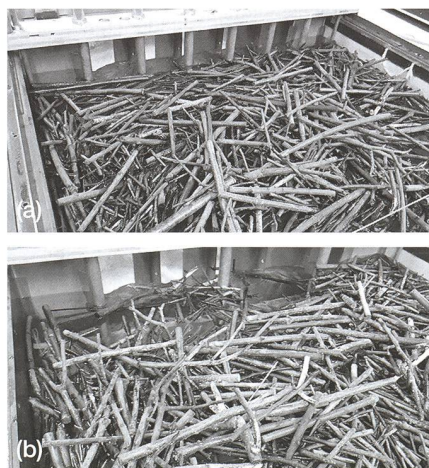


Figure 13: (a) Troncs bloqués contre le râtelier (a) complet, et (b) partiel.

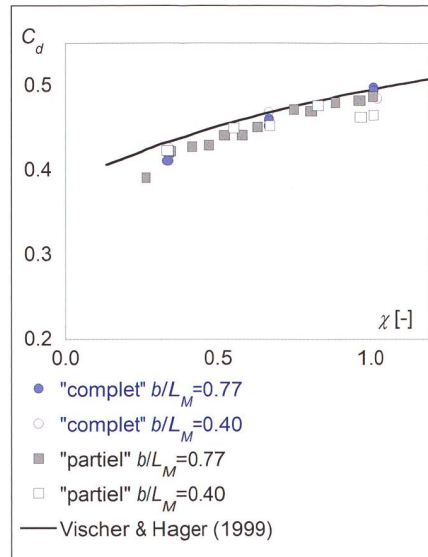


Figure 14: Coefficients du déversoir C_d en fonction de χ pour les tests avec un râtelier.

dû au volume total qui a été fourni en un seul lot, et à la proximité du râtelier.

La Figure 14 représente les coefficients C_d mesurés en fonction de χ qui sont comparés à la courbe de référence sans bois flottants (Vischer et Hager, 1999). Avec un râtelier complet, l'efficacité du déversoir n'est quasiment pas perturbée. Pour le râtelier partiel, l'efficacité du déversoir est légèrement réduite, au moins pour les cas testés.

5. Synthèse

Les évacuateurs de crue des barrages doivent garantir une capacité de débit adéquate en cas de crue extrême. Les bois flottants peuvent induire des obstructions des évacuateurs et limiter leurs fonctionnalités et leurs capacités de décharge. Les blocages peuvent augmenter le niveau de la retenue.

Une étude sur modèle réduit est accomplie afin de tester l'effet des bois flottants sur la charge en amont d'un déversoir standard équipé avec des piliers. Mise à part l'étude de cas sans mesures, trois approches constructives sont présentées afin de réduire ou éliminer l'effet négatif des bois flottants sur la courbe de tarage.

Les observations suivantes ont été faites dans le cadre des essais sur modèle:

- Une occurrence extrême et instantanée de bois flottants peut obstruer un déversoir standard avec des piliers. Godtland et Tesaker (1994) affirment que le blocage apparaît si $b/L_M < 0,80$, c'est-à-dire si la largeur de la passe b est inférieure à 80 % de la longueur L_M des troncs les plus grands arrivant.

- Le critère de *Godtland et Tesaker (1994)* n'a pas été validé ici, mais les observations ont confirmé un blocage si $b/L_M \leq 0,77$.
- Sans contre-mesures et pour un blocage complet un coefficient du déversoir moyen de $C_{dm} = 0,38$ a été observé sur le modèle. Ce dernier a priori était indépendant du débit (jusqu'au débit de dimensionnement), de la largeur relative de la passe (aussi longtemps que $b/L_M \leq 0,77$) et du volume de bois flottants (tant que le volume présent dépasse le volume caractéristique qui conduit à l'accumulation décisive). En ce qui concerne la variation des données, étant typique pour les bois flottants, un coefficient $C_{dd} = 0,36$ peut être envisageable pour l'évaluation d'ouvrages existants.
- Les piliers avec une tête déplacée vers l'amont ont réduit l'effet négatif des bois flottants sur la courbe de tarage. L'effet d'un déversoir complètement bloqué sur C_d est quasiment absent si le prolongement des piliers p dans le réservoir dépasse $0,35H$ (H sans bois flottants).
- En l'absence de piliers (b/L_M est « grand »), aucun effet de blocage des bois flottants sur C_d n'a été observé si le diamètre maximal du tronc D_M était inférieur à $0,35H$ (charge de référence H sans bois flottants). Un blocage partiel a été observé pour les diamètres de troncs de $0,35H$ à $0,60H$, et un blocage complet pour les diamètres supérieurs à $0,60H$.
- Un râtelier «complet» (une barre par pilier, passes plus étroites que recommandé par *Godtland et Tesaker, 1994*) positionné à $0,5b$ en amont de la crête du déversoir, a retenu les bois flottants. Le déversoir fonctionne quasiment à pleine capacité, tout comme l'installation avec les piliers dont la tête était déplacée dans le réservoir.
- Le râtelier «partiel» inclut une barre sur deux piliers, et ainsi des distances entre les barreaux plus larges que signalé par *Godtland et Tesaker (1994)*. Par conséquent, les bois flottants ont pénétré jusqu'à la crête du déversoir et ont partiellement perturbé la capacité de déversement.
- Dans ces essais, seul un volume et une taille extrême de bois flottants arrivant instantanément au déversoir ont été testés, présentant un scénario extrême. Les petits lots qui arrivent en continu peuvent se comporter différemment. De plus, les résultats présentés ici sont valables pour une crête de déversoir standard précédée d'un réservoir.

Remerciements

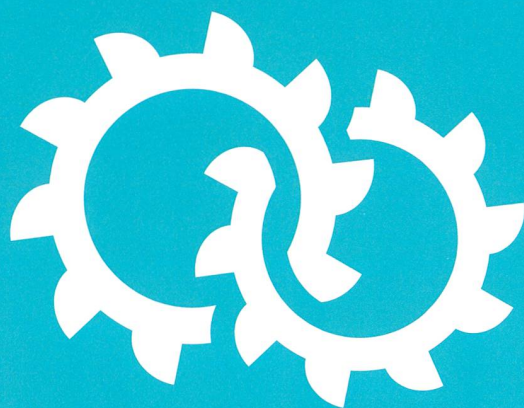
L'Office fédérale de l'énergie et la HES-SO ont cofinancés l'étude. Les auteurs remercient le Service des Parcs et Promenades de la Ville de Fribourg pour les bois flottants.

Sources:

- OFEV (2019). Bois flottant dans les cours d'eau. UW-1910-D. Office fédéral de l'environnement, Berne.
- Bénet, L. (2019). Etude de l'effet des bois flottants bloquant un évacuateur de crue. B.Sc. Thesis, Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg (HEIA-FR, HES-SO), Fribourg.
- Bezzola, G. R. et Hegg, C., eds. (2007). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Bundesamt für Umwelt & Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Berne.
- Bruschin, J., Bauer, S., Delley, P. et Trucco, G. (1981). The overtopping of the Palagnedra dam. *Water Power & Dam Construction* 34(1), 13-19.
- ETH (2018). Klimaszenarien CH2018: Die Schweiz erwärmt sich weiter. Medienmitteilung 13.11.2018. ETH Zürich.
- FHWA (2005). Debris control structures, evaluation and countermeasures. Report FHWA-IF-04-016, US Department of Transportation.
- Furlan, P. (2019). Blocking probability of large wood and resulting head increase at ogee crest spillways. Ph.D. Thesis 9040, EPFL Lausanne.
- Godtland, K. et Tesaker, E. (1994). Clogging of spillways by trash. Proc. Intl. Conf. ICOLD, Durban, Q68, R36, 543-557.
- Hager, W.H., Schleiss, A.J., Boes, R.M. et Pfister, M. (2020). *Hydraulic Engineering of Dams*. Taylor and Francis, London.
- Härtlieb, A. (2012a). Modellversuche zur Verkläusung von Hochwasserentlastungsanlagen mit Schwemmholz. *WasserWirtschaft* 6, 15-19.
- Härtlieb, A. (2012b). Large-scale hydraulic model tests for floating debris jams at spillways, 2nd IAHR Europe Congress, München.
- Härtlieb, A. et Bezzola, G.R. (2000). Ein Überblick zur Schwemmholzproblematik. *Wasser Energie Luft* 92(1/2), 1-5.
- Härtung, F. et Knauss, J. (1976). Considerations for spillways exposed to dangerous clogging conditions. Proc. Intl. Conf. ICOLD, Mexique, Q47, R2, 741-749.
- Johansson, N. et Cederström, M. (1995). Floating debris and spillways. Proc. Intl. Conf. Waterpower '95, ASCE, New York, 2106-2115.
- Lange, D. et Bezzola, G.R. (2006). Schwemmholz, Probleme und Lösungsansätze. VAW Mitteilung 188, ETH Zürich.
- Lassus, C., Vermeulen, J., Idelon, C. et Guyot, G. (2019). Influence of log jam visor on flow rate at a standard spillway. Proc. 38th IAHR World Congress, 536-546, Panama (ville), Panama.
- Le Lay, Y.R. et Moulin, B. (2007). Les barrages face à la problématique des bois flottants: collecte, traitement et valorisation. *La Houille Blanche* 3, 96-103.
- Möller, G., Weitbrecht, V. et Nussle, D. (2009). Matteschwelle Bern – Erkenntnisse zur Hochwassersicherheit aus hydraulischen Modellversuchen. *Wasser Energie Luft* 101(2), 83-88.
- Perham, E.R. (1986). Floating debris control system for hydroelectric plant intakes. The REMR Bulletin (3)2, USACE, 1-3.
- Pfister, M. (2010). Schwemmholzrückhalt beim Einlaufbauwerk zum Lyssbachstollen. *Wasser Energie Luft* 102(4), 275-280.
- Pfister, M., Capobianco, D., Tullis, B. et Schleiss, A.J. (2013). Debris blocking sensitivity of Piano Key weirs under reservoir type approach flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 139(11), 1134-1141.
- Rickli, C. et Hess, J. (2009). Aspects de la formation des bois flottants. Cours de formation continue KHOS « Protection contre les crues », Fribourg, 1-15.
- Schalko, I., Lageder, C., Schmocker, L., Weitbrecht, V. et Boes, R.M. (2019b). Laboratory flume experiments on the formation of spanwise large wood accumulations Part I: Effect on backwater rise. *Water Resources Research* 55(6), 4854-4870.
- Schalko, I., Schmocker, L., Weitbrecht, V. et Boes, R.M. (2019a). Risk reduction measures of large wood accumulations at bridges. *Environmental Fluid Mechanics*, online.
- Schalko, I., Schmocker, L., Weitbrecht, V. et Boes, R.M. (2018). Backwater rise due to large wood accumulations. *Journal of Hydraulic Engineering* 144(9), 04018056.
- Schmocker, L. (2017). Floating debris retention racks at dam spillways. Proc. 37th IAHR World Congress, 1-8, Kuala Lumpur, Malaisie.
- Schmocker, L. et Hager, W.H. (2013). Scale modelling of wooden debris accumulation at a debris rack. *Journal of Hydraulic Engineering* 139(8), 827-836.
- Schmocker, L. et Weitbrecht, V. (2013). Driftwood: Risk analysis and engineering measures. *Journal of Hydraulic Engineering* 139(7), 683-695.
- STK (2017). Floating debris at reservoir dam spillways. Report Swiss Committee on Dams, Lucerne.
- USACE (1987). Floating debris control; a literature review. Final Report, US Army Corps of Engineers, WES.
- USACE (1997). Debris control at hydraulic structures in selected areas of the United States and Europe. Contracts Report CHL-97-4, US Army Corps of Engineers, WES.
- Venez, P. (2014). Sensitivity of Piano Key Weirs regarding drift wood blockage under channel-type approach flow. M.Sc. Thesis, LCH, EPFL Lausanne.
- Vischer, D.L. et Hager, W.H. (1999). *Dam Hydraulics*. John Wiley & Sons, Chichester, US.
- Walker, K., Hasenbalg, J., Monahan, S. et Sprague, N. (2018). Physical model of spillway and reservoir debris interaction. USSD Conference & Exhibition, 1-16, Miami, FL.

Auteurs:

Michael Pfister, Prof. Dr., Filière Génie Civil, Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg (HES-SO), CH-1705 Fribourg, michael.pfister@hefr.ch
 Loïc Bénet, Filière Génie Civil, Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg (HES-SO), CH-1705 Fribourg
 Giovanni De Cesare, Dr., Plateforme de constructions hydrauliques (PL-LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne




In guten wie in schwierigen Zeiten

Ihr zuverlässiger Partner in der Wasserkraft

www.rittmeyer.com

Mess- und Leittechnik für die Wasser- und Energiewirtschaft

rittmeier
BRUGG

 Wasser Energie Luft
Eau énergie air
Acqua energia aria

Nutzen Sie als Abonnent den Zugang zu unserem Login-Bereich auf unserer Website www.swv.ch und laden Sie das «WEL» auf das Gerät Ihrer Wahl.

