Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 97 (2005)
Heft: 9-10

Artikel: La gestion du risque résidue par déversement contrôlé, le projet Difuse
Autor: Bollat, Jean-Louis
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941766

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: 12.07.2025

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

La gestion du risque résiduel par déversement contrôlé, le projet Difuse

■ Jean-Louis Boillat

Résumé

Historiquement, la principale mesure de protection contre l'inondation des terres riveraines consiste en un accroissement de la capacité d'écoulement du cours d'eau. Aujourd'hui, cette pratique est élargie à une stratégie de gestion des crues orientée vers la réduction du risque. Elle consiste à satisfaire des objectifs de protection et à gérer le risque résiduel. Ce dernier point peut être résolu par épanchement des eaux excédentaires vers des sites peu dommageables, au bénéfice de la sécurisation d'autres parties du territoire.
Ce type de solution est déjà pratiqué sur de nombreux cours d' eau. Il est également envisagé dans le cadre de la 3ème correction du Rhône en Valais. Pour favoriser le déversement latéral et dériver le surplus de débit vers des zones réservées sans provoquer la rupture des digues, des déversoirs fusibles et submersibles doivent être intégrés dans les levées. Afin d'améliorer les connaissances et d'apporter des solutions concernant l'organisation et le dimensionnement de ces ouvrages de décharge, un projet de recherche a été engagé. Sous l'acronyme Difuse, le sujet est découpé en quatre volets traitant l'ensemble des problèmes hydrauliques à considérer: le déversement latéral, le transport solide, le comportement du fusible, la stabilité du revêtement, l'érosion en pied de digue et l'intégration géométrique de l'ouvrage.

Zusammenfassung

Lange Zeit galt die Erhöhung der Abflusskapazität eines Gewässers als wirksamste Massnahme zur Gefahrenabwehr vor Überschwemmungen. Dieses Konzept ist im Laufe der Zeit auf eine Strategie der Risikoreduktion ausgedehnt worden. Sie basiert darauf, formulierte Schutzziele zu gewährleisten und das Restrisiko abschätzen und kontrollieren zu können. Das Restrisiko für Gebiete mit hohem Schadenspotenzial kann durch Ausleiten einer bestimmten Wassermenge auf Flächen mit geringem Schadenspotenzial verringert werden.
Diese Art der Risikoverminderung wird bereits an zahlreichen Flüssen angewandt und ist auch im Rahmen der 3. Rhonekorrektion im Wallis angedacht. Durch kontrolliertes Überfluten von im Hochwasserschutzdamm integrierten überströmbaren bzw. erodierbaren Dämmen kann die Kapazität des Gewässers übersteigende Abflussmenge in dafür vorgesehene Flächen abgegeben und ein eventuelles Versagen des Hochwasserschutzdammes vermieden werden. Zur Verbesserung der Kenntnisse bzgl. Anordnung, Bemessung und Dimensionierung dieser Entlastungsbauwerke ist das Forschungsprojekt Difuse ins Leben gerufen worden. Das Projekt gliedert sich in vier Teilprojekte: Seitlicher Überfall und Feststofftransport, Gestaltung und Verhalten eines erodierbaren Notentlastungselementes (fuse plug), Stabilität des Deckwerkes und Erosion und Kolkbildung am Dammfuss sowie geometrische Anordnung des Bauwerkes.

1. Inonder pour se protéger des crues

Les crues avec leur pouvoir destructeur font régulièrement la une de l'actualité. Les exemples d'inondations, sources de pertes matérielles et parfois de vies humaines, ne manquent pas sur notre planète. Il n'est pourtant pas envisageable de déplacer toutes les activités implantées dans les zones menacées, d'autant que les inondations sont par essence irrégulières tant en fréquence qu'en importance. L'aménagement du territoire offre néanmoins des possibilités de gestion de la vulnérabilité des biens. Pour relever ce défi, il faut se souvenir que lorsqu'un cours d'eau sort de son lit la cause n'en incombe pas uniquement aux conditions locales. Les caractéristiques du bassin versant, la présence de retenues naturelles ou artificielles, les lâchés d'eau ou les ruptures d'embâcles sont autant d'éléments qui contribuent à la dynamique du fleuve.

Le concept de protection durable capable de s'adapter à l'aléa hydraulique recourt, par la force des choses, à une planification différenciée du territoire consistant notamment à définir des zones inondables pour épargner les territoires plus dommageables. Il faut donc organiser l'inondation pour se protéger des crues.

1.1 Les types d'inondation

Chaque partie du territoire possède une dynamique propre qu'il est possible d'évaluer en termes d'occurrence des crues et d'importance des dommages. Les directives éditées par l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG, 2001) proposent une approche globale et pluridisciplinaire pour aborder cette problématique et développent une stratégie à respecter dans l'élaboration d'un projet de protection contre les crues. L'analyse commence par une évaluation de la situation de danger et des dégâts potentiels. Lors de cette étape il est important de bien distinguer les types possibles d'inondation qui peuvent se résumer ainsi (Auclerc, 2002):

- par débordement direct, lorsque le cours d'eau quitte le lit mineur pour occuper le lit majeur;
- par débordement indirect lorsque les eaux remontent par résurgence sous l'effet de mise en pression des nappes alluviales et des réseaux d'assainissement;
- par stagnation d'eaux pluviales, liée à une capacité insuffisante d'infiltration ou de drainage lors de fortes pluies;
- par ruissellement des zones imperméables, capable de saturer le réseau d'évacuation et de provoquer l'inondation des zones dépressionnaires;
- par des crues exceptionnelles lors d'épisodes météorologiques à période de retour élevée;
- par destruction d'ouvrages (digues,

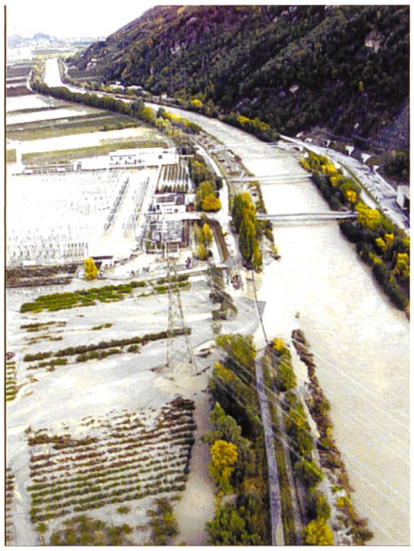


Figure 1. Ouverture accidentelle de brèches dans les digues latérales du Rhône lors de la crue d'octobre 2000.

barrages, levées), en particulier sur les secteurs où le lit du cours d'eau est endigué à un niveau supérieur à celui de la plaine (Fig.1);

- par la propagation d'une onde générée par rupture d'embâcle ou glissement de terrain dans une retenue.

L'examen de ces différents cas de figure met en évidence les possibilités offertes de créer artificiellement une inondation, notamment par rupture volontaire de digue. Le principe des digues fusibles et submersibles était déjà pratiqué par les Egyptiens à des fins de protection contre les crues et d'irrigation. Cette possibilité d'ouvrir «aux endroits les plus commodes et moins dommageables des déchargeurs pour recevoir les eaux» était aussi acceptée sous le règne de Louis XIII (1629). Elle a également été appliqué par les ingénieurs du XVIIIe siècle pour la protection contre les crues de la Loire (Auclerc, 1999) et plus récemment sur la Reuss dans le canton d'Uri (Bosshard, 2000). D'une manière générale, cette pratique suscite un nouvel intérêt dans le développement de solutions durables. Elle est sérieusement envisagée sur de nombreux cours d'eau, en particulier dans le cadre de la 3ème correction du Rhône, qui pourrait constituer un cas d'école en la matière.

1.2 L'évaluation du risque

Par définition, le risque résulte de la confrontation des prévisions de submersion, l'aléa, avec la vulnérabilité des enjeux. Dans ce jargon, l'aléa hydraulique exprime le potentiel de destruction ou de dégradation par une crue à l'endroit considéré. L'évaluation de ce potentiel requiert la définition de la probabilité, de l'importance et de l'extension géographique de l'inondation. L'aléa hydraulique est associé à une notion de fréquence, exprimée par la période de retour, et à des paramètres de submersion tels que la hauteur et la vitesse de l'eau, mais aussi le temps d'alerte et la durée de l'inondation. Les enjeux représentent la valeur des biens à protéger. Ils peuvent être d'ordre social, économique et environnemental. Les directives fédérales d'élaboration des cartes de danger (OFEG, 2001) et les barèmes établis pour l'appréciation des enjeux (OFEG, 2005) s'appliquent ainsi à l'évaluation du risque.

1.3 La gestion du risque

La minimisation du risque correspond à une réduction de l'aléa et/ou de la vulnérabilité de la zone. La question à résoudre est de savoir dans quelle mesure des travaux valent la peine d'être réalisés pour empêcher ou déplacer l'inondation. Dans ce contexte, le classement de zones peu dommageables en surfaces inondables revêt un intérêt certain, en particulier si le laminage de la crue opéré par la rétention permet de réduire le risque à l'aval. Cet effet de laminage est toutefois difficile à évaluer car il dépend de l'hydrogramme de la crue, du seuil de déclenchement et de la capacité de l'ouvrage de décharge ainsi que du volume de rétention disponible de la zone d'épanchement. La solution consistant à ouvrir une brèche dans une digue latérale pour réduire le débit de pointe d'une crue n'est de ce fait pas une opération triviale.

Conceptuellement, la protection apportée par l'endiguement d'un cours d'eau est associée à une période de retour objectif. Lorsque le débit de dimensionnement est dépassé, les levées sont débordées et l'inondation peut provoquer instantanément des dommages importants. La gestion du risque résiduel associé à ces débordements, par exemple en inondant des zones d'épanchement, permet de réduire considérablement le risque. Ce concept de gestion, illustré schématiquement sur la figure 2, contribue efficacement au développement durable de la région concernée. Il est admis dans ce schéma que la crue extrême est une notion floue, bornée par la PMF (probable maximum flood). Cette limite peut théoriquement être dépassée en cas d'accident (rupture d'embâcle ou de digue) ou de fausse manœuvre (turbinage pendant la pointe de crue).

1.4 La situation actuelle et le projet de troisième correction du Rhône

La situation actuelle et le projet de troisième correction du Rhône.

L'endiguement du Rhône a permis de gagner 17 000 ha de terre. Autrefois inculte la plaine du Rhône est aujourd'hui très prospère et les marécages ont fait place à un territoire fertile. L'endiguement opéré par la première et la deuxième correction du Rhône n'a cependant pas résolu définitivement le problème de la protection contre les crues. En effet, même si les crues de 1987, 1993 et 2000 n'entraînèrent pas d'inondations aussi importantes que par le passé, les dommages occasionnés s'en trouvaient considérablement accrus en raison de la valeur des biens menacés. Ces crues révélèrent en particulier le mauvais état de certaines digues et la nécessité d'effectuer de nouveaux travaux pour assurer la sécurité.

Face à cette situation, le canton du Valais a initié le projet d'une troisième correction du Rhône, avec les objectifs de garantir la sécurité contre les crues et de rétablir ou de renforcer les fonctions biologiques et socio-économiques que le fleuve doit assurer. Parmi les grands

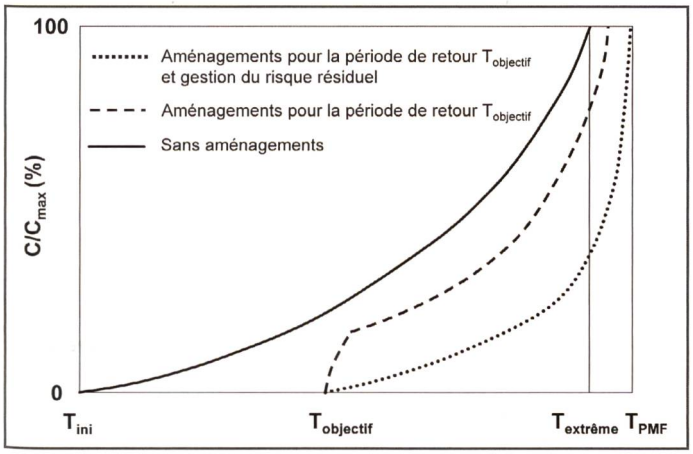


Figure 2. Evolution schématique du coût relatif des dommages pour les enjeux sans et avec aménagements et dans un concept de gestion du risque résiduel.

principes du projet (Arborino, 2000) il est prévu d'optimiser la rétention sur des secteurs dont le potentiel de dommage est peu élevé pour réduire le risque à l'aval (Fig. 3). Cette rétention peut se réaliser dans la plaine en confinant les zones d'inondation à l'aide d'arrière-digues. Cet effet de rétention, s'ajoute à celui produit par les retenues des aménagements hydroélectriques, dont l'efficacité peut être augmentée grâce à une gestion préventive de leur exploitation.

2. La stratégie d'inondation

L'application du principe d'écrêtement dynamique des crues repose sur deux niveaux d'écrêtement: tout d'abord par occupation du lit majeur dans les zones d'expansion naturelle des crues, puis par des zones d'épanchement inondées au-delà d'un certain seuil. Cette stratégie doit être accompagnée de protections localisées là où l'effet produit par les deux premiers niveaux se révèle insuffisant.

Le projet global doit s'attacher à déterminer le nombre, l'emplacement et le volume de rétention des zones d'épanchement, qui permettent de satisfaire les objectifs de protection, tout en étant compatibles avec les objectifs environnementaux paysagers et socio-économiques. Il se révèle dès lors important de bien fixer le seuil de déclenchement du remplissage des zones et de maîtriser la vitesse d'ouverture de l'ouvrage de décharge.

Il est en outre primordial de réaliser que le seul critère du volume stocké, au total et/ou par zone individuellement, ne suffit pas à garantir l'efficacité de la protection. Celle-ci dépend non seulement du volume total mais aussi de sa répartition géographique le long du cours d'eau. Seul un modèle de simulation du système hydraulique complet permet de définir clairement le fonctionnement du réseau et de l'optimiser.

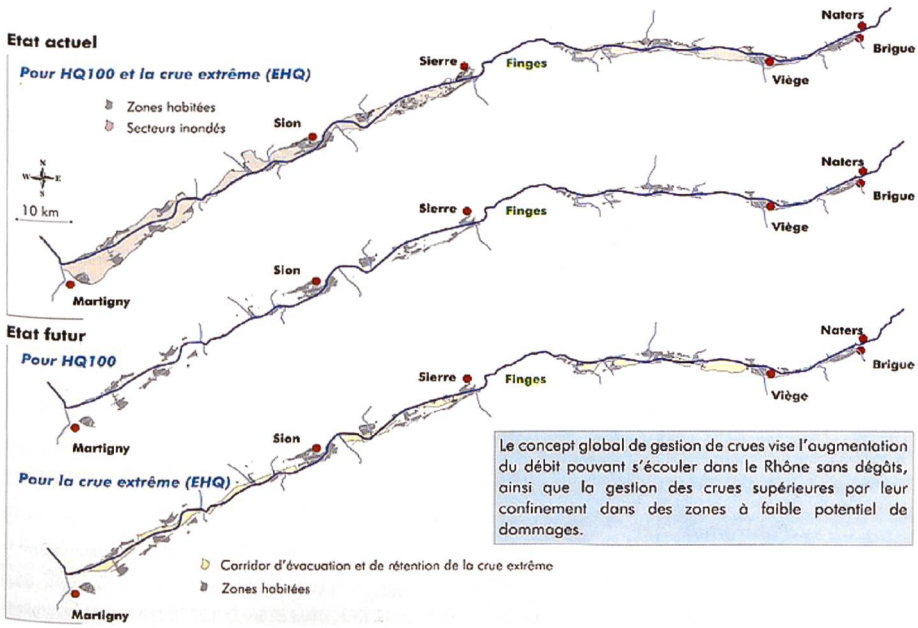


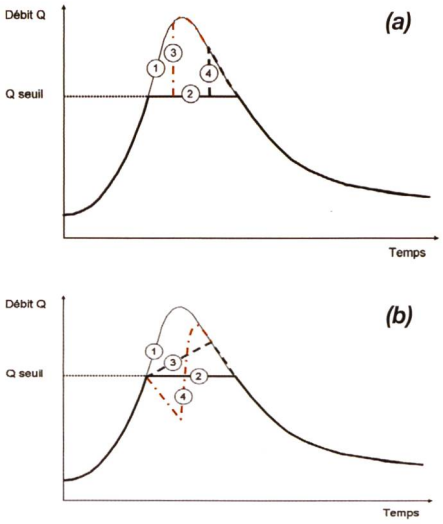
Figure 3. Les enjeux actuels et le concept de gestion future du risque résiduel dans la vallée du Rhône à l'amont de Martigny (source Arborino, 2000).

2.1 Le seuil de déclenchement

Le seuil de déclenchement d'un élément fusible destiné à évacuer la part excédentaire du débit de crue vers la zone d'épanchement est généralement fixé par la limite de débit acceptable sur le tronçon aval du cours d'eau. Ce critère doit être en adéquation avec le volume de stockage disponible dans la zone d'épanchement. En effet, si ce volume est insuffisant, le laminage escompté ne sera pas atteint et la protection que partiellement ou pas du tout assurée (Fig. 4a). Il faut également veiller à maîtriser un déversement excessif éventuel.

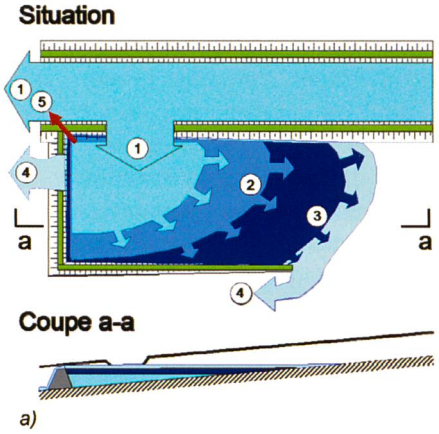
2.2 L'ouverture progressive du fusible

Afin d'utiliser de manière optimale le volume disponible de la zone d'épanchement, l'ouverture du fusible doit être opérée de manière à suivre l'évolution de l'hydrogramme de crue (Fig. 4b). Une ouverture trop rapide conduit à un remplissage prématuré, préjudiciable à l'effet de laminage escompté. Une ouverture trop lente laisse passer un débit trop important

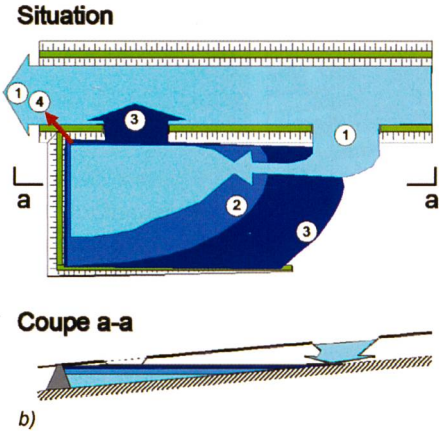


1: Hydrogramme de crue;
2: Hydrogramme laminé de manière optimale;
3: Laminage inefficace en raison d'un volume de rétention largement insuffisant;
4: Laminage partiel résultant d'un volume de rétention insuffisant.
b) Influence de la vitesse d'ouverture du fusible;
1: Hydrogramme de crue:
2: Hydrogramme laminé de manière optimale;
3: Laminage inapproprié dû à une ouverture trop lente du fusible;
4: Laminage inefficace résultant d'une ouverture trop rapide du fusible.

Figure 4a. Influence du seuil de déclenchement du fusible.



a) Remplissage depuis l'aval:
1: déversement latéral pour laminer la crue;
2: remplissage progressif;
3: limite de remplissage;
4: propagation de l'inondation vers l'aval;
5: vidange de la retenue à la fin de la crue.



b) Remplissage depuis l'amont:
1: déversement latéral pour laminer la crue, transit de la zone d'épanchement vers le point bas;
2: remplissage progressif;
3: surverse possible dans le cours d'eau;
4: vidange de la retenue à la fin de la crue.

Figure 5. Influence de la position du fusible.

par rapport à l'objectif fixé sur le tronçon aval. Le dispositif d'ouverture devrait ainsi offrir une certaine marge de manœuvre pour la régulation du débit dérivé.

2.3 La position de l'élément fusible

L'emplacement de l'élément fusible destiné à décharger le tronçon aval du cours d'eau dépend essentiellement de l'existence de zones propices à l'inondation. Il est donc rarement possible de choisir la rive de déversement en fonction de la morphologie locale. Il est par contre utile d'examiner l'influence de la position de l'élément fusible par rapport à la zone d'épanchement.

En plaçant le fusible à l'aval de la zone, le remplissage de cette dernière se fait par inondation consécutive à l'augmentation du plan d'eau (Fig. 5a). Si le volume disponible est insuffisant pour laminer la crue, le refoulement se produit à condition que le niveau atteint dans la zone d'épanchement devienne supérieur à celui du cours d'eau. Si cela n'est pas possible, l'arrière-digue est submergée et l'inondation se propage vers le territoire aval. Il est impératif dans ce cas d'éviter la rupture de l'arrière-digue. Des ouvrages de décharge doivent être prévus à cet effet.

En plaçant le fusible à l'amont de la zone, le remplissage se fait par écoulement gravitaire du débit déversé vers le point bas de la zone d'épanchement (Fig. 5b). Il convient alors d'accorder une attention particulière à la circulation de ce flux et de veiller à ce qu'il ne conduise pas à la déstabilisation du pied de digue. Si le volume disponible est insuffisant pour laminer la crue, un organe de décharge vers le cours d'eau peut être envisagé à l'aval de la zone, à condition que les niveaux correspondants le permettent. Si cela n'est pas possible, l'arrière-digue sera submergée comme précédemment et des ouvrages de décharge doivent être prévus pour garantir sa sécurité.

Lorsque le choix est possible, le remplissage depuis l'aval est certainement la meilleure solution. Dans tous les cas, la vidange de la zone d'épanchement sera assurée après le passage de la crue. Cette opération est réalisée gravitairement de préférence, au travers d'une conduite équipée d'une vanne ou d'un clapet antiretour. Elle peut aussi être réalisée par pompage.

Les ouvrages de rétention d'eau présentent toujours un danger potentiel pour les territoires aval, en particulier lorsqu'ils sont destinés à la protection contre les inondations, car ils se situent à l'amont des zones vulnérables qu'ils protégent. Ils génèrent de ce fait un risque nouveau, dont la maîtrise est d'ordre technologique. Le sentiment de sécurité qui se développe à l'aval de ces aménagements se doit d'être relativisé en examinant attentivement le risque résiduel qui leur est associé.

3. Le dimensionnement des digues fusibles et submersibles. Le projet Difuse

Les considérations faites précédemment démontrent si besoin est qu'une attention toute particulière doit être accordée au dimensionnement des zones d'épanchement et des ouvrages qui contrôlent leur fonctionnement. Ceci est d'autant plus important que la rareté et la dangerosité des fortes crues n'autorisent pas un ajustement progressif des dispositifs mis en place. C'est pourquoi un projet de recherche a été initié dans l'objectif d'améliorer les connaissances et d'apporter des solutions à la problématique des débordements volontaires créés par l'ouverture de brèches dans les levées. Cette étude sur les «digues fusibles et submersibles pour la protection contre les crues» a été développée sous l'acronyme Difuse.

3.1 Les partenaires du projet

Le projet Difuse, a été réalisé en partenariat (Fig. 6) par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et les Hautes Ecoles Spécialisées de Fribourg, Genève et Yverdon.

Il était soutenu et accompagné par

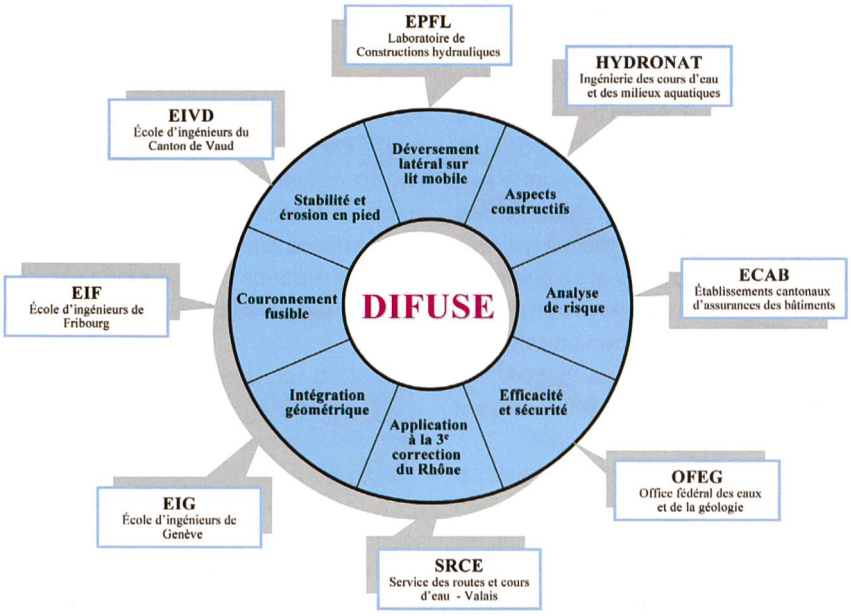


Figure 6. Les partenaires et attributions du projet Difuse.

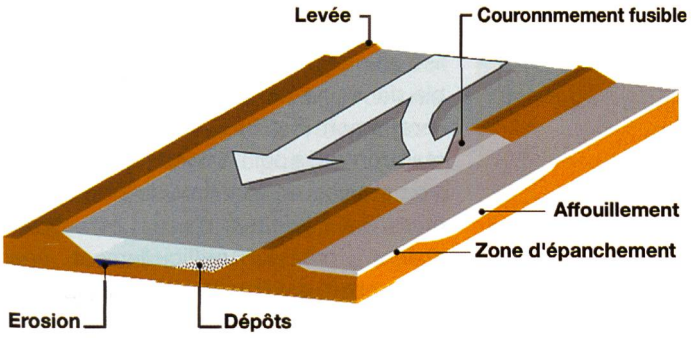


Figure 7. Les aspects examinés par le projet Difuse.

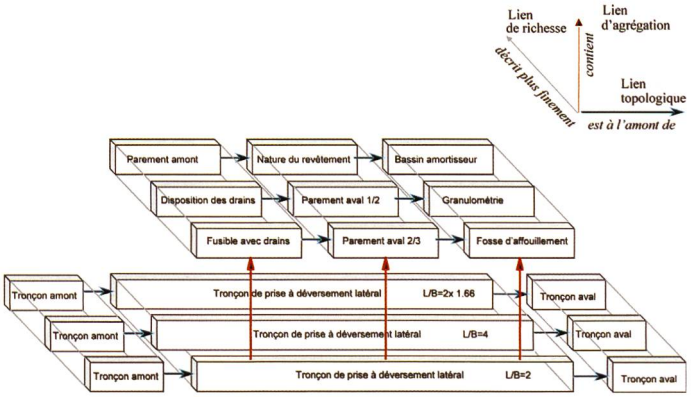


Figure 8. Description organique de l'aménagement avec ses liens topologique, d'agrégation et de richesse.

le Service des routes et cours d'eau du canton du Valais (SRCE-VS), l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), le bureau Hydronat SA et l'Etablissement cantonal d'assurances des bâtiments à Fribourg (ECAB). Ce projet avait pour objectif de développer les bases de dimensionnement des digues fusibles et submersibles en traitant l'ensemble des problèmes hydrauliques à considérer. La motivation était aussi de développer un réseau de compétences en ingénierie hydraulique reposant sur un partenariat entre EPF et HES.

3.2 Les objectifs et l'organisation du projet

Le sujet est subdivisé en quatre volets traitant l'ensemble des problèmes hydrauliques à considérer en phase de dimensionnement (Fig. 7): le déversement latéral et son interaction avec le transport solide dans le cours d'eau, le comportement du fusible, la stabilité du revêtement de digue, l'érosion en pied de digue et l'implication de l'ouvrage dans le comportement dynamique de l'environnement local.

Déversement latéral en lit mobile: La perte d'une partie du débit par un déversement latéral a pour effet de réduire la capacité de transport par charriage. Il en résulte la formation locale de dépôts sédimentaires qui provoquent un accroissement non contrôlé du débit déversé latéralement (Rosier et al., 2005a et b). Le changement de débit au droit du déversoir latéral provoque une surélévation du lit mobile et une modification progressive de sa morphologie à l'aval et à l'amont de l'ouvrage. Les plus fortes variations se manifestent à l'endroit du déversoir sous l'effet de perturbations dues aux formes de lit. L'évolution s'atténue au cours du temps et le dépôt tend vers une forme plus ou moins stable qui provoque une réduction de section significative à l'extrémité aval du déversoir. Les dépôts sont également responsables d'une augmentation de la vitesse d'écoulement sur la rive opposée au déversoir, induisant une sollicitation supplémentaire des berges. Il en résulte des zones d'érosion qui se développent vers l'aval en passant d'une rive à l'autre en même temps qu'elles s'atténuent progressivement. Sur le tronçon aval, le lit mobile tend à conserver son niveau initial.

Comportement du couronnement: Le couronnement de digue fusible est un dispositif intégré qui doit être capable de s'effacer lorsque le niveau de la crue atteint une cote critique de contrôle (Ribi et Pury, 2005). Le scénario consiste à organiser l'ouverture d'une série de brèches localisées sur le couronnement de la digue, et à favoriser l'érosion naturelle du linéaire qui les sépare. Après un certain temps, la fenêtre intégralement dégagée offre sa capacité maximale d'évacuation. Le problème réside dans la mise au point de cette procédure, dans le développement de l'organe fusible et dans la progression temporelle de l'ouverture déversante. La solution examinée s'inspire des ruptures accidentelles provoquées par les terriers creusés horizontalement depuis le parement amont de la digue. Le dispositif proposé est capable de libérer la section en un temps adapté à l'augmentation du débit de crue.

Stabilité du revêtement et érosion en pied de digue: Lors de la rupture du fusible, une partie de l'écoulement déverse latéralement sur le corps de digue. La sollicitation hydraulique ne doit pas provoquer la ruine de l'ouvrage. Il importe donc que le revêtement de protection résiste à l'écoulement et que l'érosion en pied de digue ne soit pas préjudiciable à sa stabilité (Bonvin, 2005). Les paramètres à considérer sont principalement le débit unitaire d'évacuation, la longueur de l'échancrure, l'inclinaison du parement aval, le type et la dimension des éléments de revêtement ainsi que la nature de la couche superficielle du sol récepteur. Il est ainsi possible de dissiper une partie de l'énergie sur un parement rugueux pour réduire l'affouillement en pied de digue. A l'inverse, un revêtement lisse transfère une énergie résiduelle plus importante, qui peut nécessiter la présence d'un bassin amortisseur ou d'une protection équivalente.

Intégration géométrique du fusible: L'évolution de l'écoulement dans la zone d'épanchement, le remplissage progressif de cette dernière jusqu'à saturation et sa vidange en phase de décrue dépendent exclusivement de la configuration géométrique locale. Pour la simulation de ce processus dynamique, il est fait recours aux techniques de modélisation hydraulique et infographique. La combinaison d'images numériques issues d'une simulation hydraulique et d'un volume de synthèse habillé d'une orthophotographie permet de reproduire l'inondation (Haldi, 2005). Cette information est particulièrement utile pour l'aménagement de la zone de réception et de ses ouvrages annexes, tels que chenal d'inondation, organes de trop-plein et de vidange, arrière-digue, ainsi que pour évaluer les dommages causés par une crue.

Assemblage des éléments: L'examen séparé des différents volets du projet Difuse repose sur l'hypothèse d'une complémentarité fonctionnelle des différents éléments. Les résultats de l'étude sont sensés pouvoir être assemblés dans une logique respectueuse de la direction du flux, de la configuration souhaitée et du degré de détail recherché. L'établissement des liens topologiques, d'agrégation et de richesse, tels qu'illustrés sur la figure 8, répond à cette logique. Ainsi, différentes longueurs relatives de déversoir par rapport à la largeur du cours d'eau L/B ont été examinées. Parallèlement, diverses configurations de fusibles et de parements aval ont été étudiées.

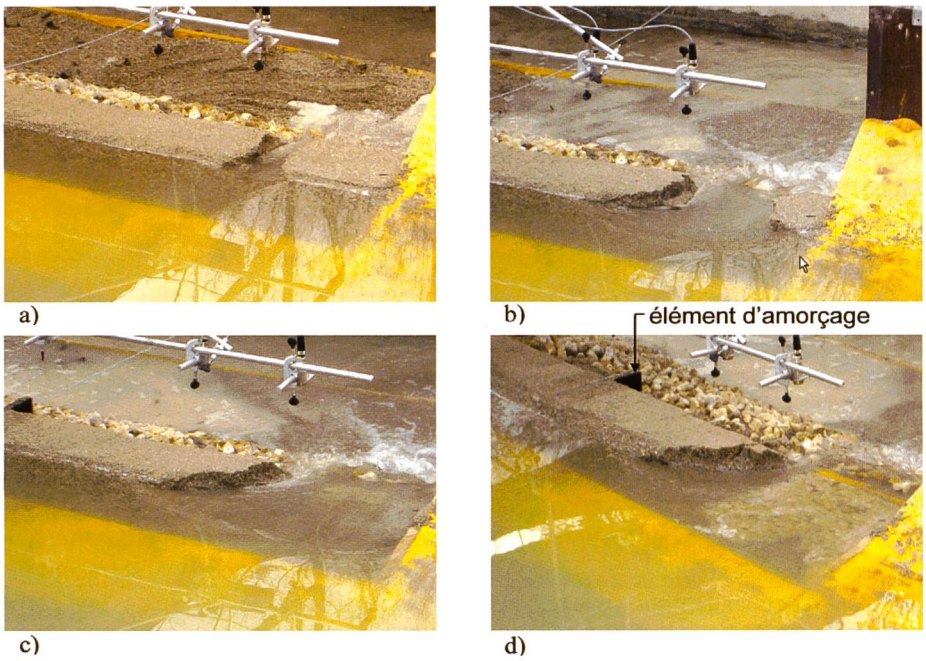


Figure 9. Ouverture progressive du fusible, de a) à d), lors de l'essai d'ensemble. Un élément d'amorçage est visible sur les photos c) et d) (source Kaeser, 2003).

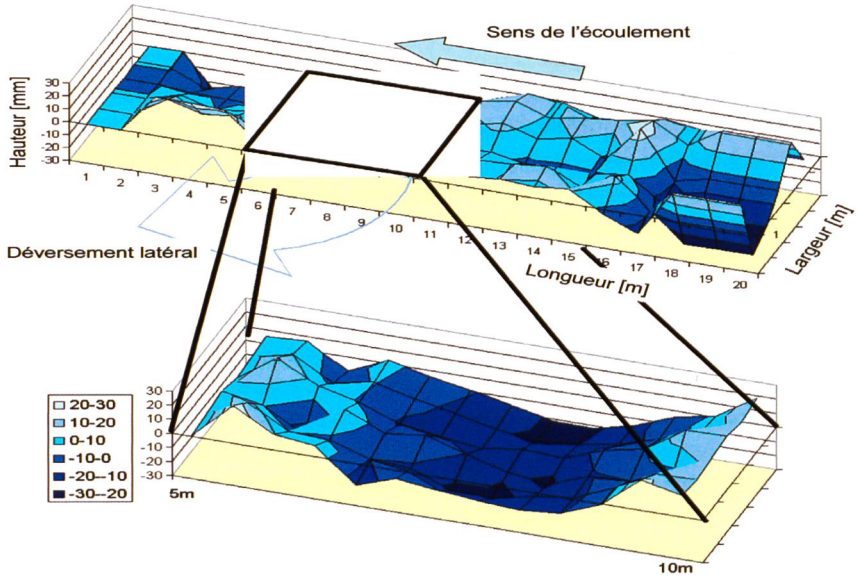


Figure 10. Configuration du lit dans la zone du déversoir latéral à la fin de l'essai d'ensemble. Les hauteurs d'érosion sont données en (mm) à l'échelle du modèle (source Kaeser, 2003).

Unité dimensionnelle: Afin d'éviter l'incohérence des résultats produits sur des sites d'expérimentation différents, le projet Difuse fait référence au Rhône en Valais. Ainsi, le régime hydraulique est de type fluvial, les dimensions géométriques respectent des proportions adaptées, la granulométrie du lit est en similitude. Même le site fictif utilisé pour la simulation infographique trouve son origine dans la plaine du Rhône. Les paramètres d'étude, tels que la longueur de déversement, l'inclinaison du parement de la digue ou la hauteur relative du fusible se situent dans une gamme possible d'application au projet de la troisième correction du Rhône.

Validation: Afin d'éviter que la combinaison des résultats obtenus par les différents partenaires du projet ne souffrent du non respect d'interactions possibles, un essai d'ensemble de comportement d'une digue fusible a été réalisé dans le bassin hydraulique de l'EIVD à Yverdon. Intégrant les apports respectifs tous les partenaires académiques du projet Difuse, cette expérimentation était destinée à établir le lien entre les différents volets de recherche consacrés à la conception et au dimensionnement de digues fusibles et submersibles pour la protection contre les crues. Elle consistait à simuler le au laminage d'une crue par déversement latéral en maintenant un débit constant sur le tronçon aval du cours d'eau.

L'essai d'ensemble a ainsi été réalisé en provoquant la destruction du fusible dans une progression allant de l'aval vers l'amont (Fig. 9). L'ouverture du fusible était contrôlée par l'amorçage de brèches successives en fonction du niveau aval mesuré sur le cours d'eau. Les brèches étaient créées artificiellement par l'extraction d'éléments solides intégrés dans le corps du fusible.

L'essai confirme clairement qu'une zone de dépôt se forme dans le cours d'eau à l'aval du déversoir latéral. Des dépôts sont également constatés à l'amont du déversoir dans une zone morte le long de la rive contiguë (Fig. 10). Des ondulations régulières se dessinent sur le fond du lit, qui indiquent un régime de rides ou dunes. L'ouverture des brèches est rapide dans les instants qui suivent l'amorçage, puis la progression se ralentit. Il est ainsi possible d'imaginer que l'ouverture de la brèche se stabilise d'elle-même en phase de décrue. Finalement, l'écoulement sur la digue et l'affouillement en pied démontrent la nécessité de stabiliser le couronnement et le parement aval ainsi que l'utilité de dissiper partiellement l'énergie de l'écoulement. L'énergie résiduelle nécessite le renforcement du pied de digue afin de limiter l'affouillement à cet endroit.

Cet essai a confirmé qu'il est possible de prévoir théoriquement le comportement transitoire d'un déversement par ouverture de brèches dans une digue fusible. Toutefois, les nombreuses simplifications faites dans la modélisation et la complexité des phénomènes simulés montrent qu'il est nécessaire d'étudier chaque situation indépendamment en ne négligeant aucun des aspects traités dans le cadre du projet Difuse. Une attention particulière doit être accordée à l'évolution temporelle de l'alluvionnement du lit du cours d'eau et au dépôt qui se constitue à l'aval de la zone de déversement. Ces deux phénomènes ont comme conséquence la surélévation du plan d'eau amont et l'augmentation du débit déversé.

4. Conclusions et perspectives

L'aménagement de zones d'épanchement en bordure d'un cours d'eau est une solution séduisante pour gérer le risque résiduel en situation de crue extrême. Malgré son apparente simplicité, ce concept requiert une grande sophistication dans son dimensionnement et des exigences sévères pour sa réalisation. Il ne faut pas oublier que les ouvrages de rétention constituent toujours

une menace pour les territoires vulnérables qu'ils protégent. Le risque créé doit logiquement rester inférieur au risque naturel qu'il supprime. L'aménagement doit au pire rester neutre en situation de crue. Le sentiment de sécurité développé par la présence des arrière-digues doit toujours être relativisé. Sa validation nécessite une étude des dangers potentiels basée sur des scénarios extrêmes dépassant la seule crue de projet. L'aspect sécuritaire doit être adapté au fait que les ouvrages ne fonctionnement que rarement et uniquement lors de crues importantes.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet Difuse visent à mettre en évidence les principaux problèmes hydrauliques à considérer pour la conception de digues fusibles et submersibles. Ils apportent quelques réponses utiles au dimensionnement de ce type d'ouvrages. L'essai d'ensemble réalisé en bassin expérimental a ainsi permis de passer en revue tous les éléments étudiés en détail par les différents partenaires académiques du projet.

Concernant l'évolution du lit mobile il apparaît clairement qu'une zone de dépôt se forme dans le cours d'eau à l'aval du déversoir latéral. Des dépôts sont également constatés à l'amont du déversoir dans une zone morte le long de la rive contiguë. Des ondulations régulières se dessinent sur le fond du lit, qui indiquent un régime de rides ou dunes. Ces modifications morphologiques ont une influence significative sur l'évolution temporelle du débit déversé.

L'ouverture des brèches est rapide dans les instants qui suivent l'amorçage, puis la progression se ralentit. Il est donc nécessaire de prévoir des amorces régulières pour maîtriser la vitesse d'ouverture de la section de déversement. Finalement, l'écoulement sur la digue et l'affouillement en pied confirment la nécessité de stabiliser le couronnement et le parement aval ainsi que l'utilité de dissiper partiellement l'énergie de l'écoulement sur le plan incliné. L'énergie résiduelle nécessite le renforcement du pied de digue afin de limiter l'affouillement à cet endroit.

Bien qu'il soit théoriquement possible de prévoir le comportement transitoire d'un déversement par ouverture de brèches dans une digue fusible, il est vivement recommandé de bien étudier chaque situation indépendamment et surtout de ne négliger aucun des aspects traités dans le cadre du projet Difuse. En outre, les aspects géotechniques relatifs à l'hétérogénéité et à la perméabilité des sols de fondation, au choix des matériaux des digues et à leur système de drainage revêtent une importance capitale. Il en va de même pour l'exécution et pour l'entretien régulier des ouvrages.

L'utilisation des zones d'épanchement conserve un caractère exceptionnel associé à des situations de danger élevé. Un système de prévision des crues basé sur la prévision météorologique, tel développé dans le projet Minerve (Boillat, 2005; Jordan et al., 2004), se révèle d'une grande importance en pareille situation. Il permet non seulement de générer des alarmes dans les secteurs menacés mais aussi d'intervenir à bon escient sur l'exploitation des aménagements hydrauliques implantés sur le bassin versant. Il permet ainsi de réduire la fréquence d'utilisation des zones inondables.

Bibliographie

Arborino, T. (2000). 3e Correction du Rhône – Sécurité pour le futur, Rapport de synthèse, Département des Transports, de l'Equipement et de l'Environnement – Canton du Valais.

Auclerc (1999). Lutte contre les crues et les inondations en Loire moyenne, Magazine La Loire et ses terroirs, Dossier N° 30, Combleux, France.

Auclerc (2002). Inondations. Des travaux de protections localisées à la diminution de la vulnérabilité, Supplément au magazine La Loire et ses terroirs, N° 41/42, mars, Saint Etienne, France.

Boillat, J-L. (2005). L'influence des retenues valaisannes sur les crues. Le projet Minerve, Proc. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication 21 LCH-EPFL, 9 juin, Martigny, Suisse.

Bonvin, J. (2005). Difuse: Ecoulement sur le parement aval d'une digue et érosion en pied, Proc. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication 21 LCH-EPFL, 9 juin, Martigny, Suisse.

Bosshard, M. (2000). Hochwasserschutz Reuss. Sicherheit, Effizienz und Ökologie. Wiederaufbau der Dämme in der Reussmündung im Kanton Uri, Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Nr. 36.

Haldi, R. (2005). Modélisation et simulation virtuelle des crues, Proc. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication 21 LCH-EPFL, 9 juin, Martigny, Suisse.

Jordan, F., Boillat, J.-L., Dubois, J., and Schleiss, A. (2004). Minerve, a tool for flood prediction and management of the Rhone river catchment area, Proc.of Conf on Risks in Design and Management of Rivers and Reservoirs, Technische Universität Dresden

Kaeser, T. (2003), Digues submersibles et fusibles pour la protection contre les crues, Travail de diplôme EIVD, Yverdon-les-Bains, Suisse

OFEG (2001). Protection contre les crues des cours d'eau. Directives de l'OFEG, OCFIM 804.801f, Berne, Suisse.

OFEG (2005). Procédure de fixation des priorités pour les projets de protection contre les crues. Estimation des dégâts potentiels 1.2, Berne, Suisse.

Ribi, J-M., Pury J. (2005). Autodestruction du couronnement d'une digue fluviale pour le déversement de débits surabondants, Proc. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication 21 LCH-EPFL, 9 juin, Martigny, Suisse.

Rosier, B., Boillat, J-L., Schleiss, A.J. (2005a). Wechselwirkung zwischen einer seitlichen Notentlastung und dem Geschiebetransport, Proc. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, Communication 21 LCH-EPFL, 9 juin, Martigny, Suisse

Rosier, B., Boillat, J-L., Schleiss, A.J. (2005b), Influence of side overflow induced local sedimentary deposit on bed form related roughness and intensity of diverted discharge, Proc. XXXI IAHR Congress, 11-16 September, Seoul, South Korea.

Remerciements

Le projet Difuse a été soutenu financièrement par la Commission pour la Technologie et l'Innovation (CTI) et par tous les partenaires académiques et industriels du projet cités sous 3.1.

Adresse de l'auteur
Dr. *Jean-Louis Boillat*
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Bât. GC, Station 18
CH-1015 Lausanne, Suisse
+41-21-693 23 85
http://lchwww.epfl.ch
jean-louis.boillat@epfl.ch