

Revitalisations des cours d'eau et mesures constructives de protection contre les crues -- une contradiction?

Anton Schleiss

Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Station 18, 1015 Lausanne, Suisse.

RÉSUMÉ: Les cours d'eau « naturels » sont sources d'habitats dynamiques c'est à dire en modification perpétuelle. Les mesures de protection contre les crues ne sont pas forcément en contradiction avec cette dynamique fluviale. Grâce à des concepts novateurs et à une mise à profit des synergies potentielles, il est possible de laisser s'exprimer ce besoin naturel dans le cadre de projet de protection contre les crues et de revitalisation même si l'espace disponible est limité et si les mesures constructives de protection restent localement inévitables. Avec des concepts répondant au développement durable, les mesures d'aménagement fluvial et de revitalisation ne doivent plus être uniquement conçues et réalisées dans un souci de protection contre les crues mais doivent également répondre aux préoccupations d'ordre environnemental, social et économique. A l'aide des exemples réalisés, il est démontré comment les mesures de protection doivent être effectuées pour obtenir dans un cours d'eau une richesse morphologique la plus grande possible, afin d'atteindre un état proche du naturel.

1 INTRODUCTION

« La nature n'admet pas la plaisanterie ; elle est toujours vraie, toujours sérieuse, toujours sévère ; elle a toujours raison et les fautes et les erreurs ne sont que le fait de l'homme. »

Cette citation de Goethe pourrait être un bon précepte pour les ingénieurs hydrauliciens dont la mission est de planifier les mesures de protection contre les crues dans les cours d'eau. Car en effet seul les aménagements qui respectent le caractère naturel des cours d'eau ont une chance d'assurer une protection fiable contre les crues à long terme. L'ingénierie fluviale moderne doit donc s'inspirer des forces et du comportement naturel des rivières sur lesquelles elle intervient. Ainsi, par exemple la rectification forcée d'un méandre naturel peut se révéler dangereuse. En effet, le cours d'eau apparemment maîtrisé n'oublie pas sa nature sauvage et profite des événements extrêmes pour reconquérir l'espace qui lui est dû.

2 DYNAMIQUE FLUVIALE ET CORRECTION DES COURS D'EAU

« Le monde est comme une rivière qui s'écoule dans son lit, déposant çà et là des bancs de sable qui la forcent à son tour à prendre un autre chemin. Tout cela se déroule joliment et sans heurt, petit à petit, et grande est la difficulté des ingénieurs hydrauliciens quand ils tentent de s'opposer à la nature de cet être. »

Goethe avait déjà compris que la correction des cours d'eau ne permettait de dompter la dynamique fluviale que dans une certaine limite. La dynamique des cours d'eau caractérise les changements de la morphologie dans l'espace et le temps sous l'effet des écoulements de crue et du charriage. Elle est marquée par une destruction périodique d'un certain nombre d'habitats, notamment à proximité des berges, faisant place nette pour de nouveaux milieux. Les cours d'eau dynamiques ont besoin de beaucoup d'espace. Ainsi, les cours d'eau formant naturellement des

méandres font divaguer leur lit dans un espace correspondant à cinq à six fois la largeur du chenal (BWG 2001). Les affluents naturels peuvent encore accroître cette bande de divagation en forçant le chenal principal contre le flanc opposé de la vallée. C'est la raison pour laquelle les cours d'eau des vallées alpines et préalpines occupaient autrefois tout le fond des vallées.

En plus de leur mission de protection contre les crues, les corrections de cours d'eau entreprises ces deux derniers siècles avaient pour but de conquérir un espace supplémentaire pour l'habitat humain et l'agriculture. La dynamique des cours d'eau devait donc être limitée. Les rivières et ruisseaux ont été canalisés, la largeur du fond du lit étant optimisée en fonction du charriage. Le résultat a été la création de cours d'eau monotones et canalisés caractérisés par une hydrologie et une morphologie quasiment uniformes.

3 DYNAMIQUE FLUVIALE ET CORRECTION DES COURS D'EAU

« L'eau est un élément ami pour celui qui la connaît et qui sait comment la traiter. »

Cette pensée de Goethe illustre bien le fait que les mesures constructives de protection contre les crues (c'est à dire la construction d'ouvrages et d'aménagements) doivent se baser sur des connaissances précises des processus intervenant au moment des crues et sur l'écologie des cours d'eau. Seule une telle approche permet de minimiser les interventions. Il n'en reste cependant pas moins que tout aménagement fluvial influe nécessairement sur la dynamique du cours d'eau concerné.

Les mesures de revitalisation ont pour but de restituer au cours d'eau une grande partie de sa dynamique naturelle pour lui permettre de se reconstituer une grande richesse morphologique. Ceci n'est possible que si les aménagements fluviaux autorisent une grande diversité d'écoulement entraînant à son tour une amélioration de la diversité spécifique du cours d'eau (Gostner&Schleiss 2012). Ainsi, même un enrochement inévitable placé dans un tronçon pratiquement rectiligne doit présenter une certaine sinuosité pour dynamiser l'écoulement. La richesse morphologique est toujours le résultat d'un minimum de dynamique fluviale produisant par exemple le remaniement périodique des matériaux charriés et une certaine érosion des berges (Scheidegger et al. 2012).



Figure 1. Les trois méandres de la Reuss à Gurtellen-Wiler avant la crue de 1987.

4 L'EXEMPLE DE GURTNELLEN-WILER: SYNERGIES ENTRE AMÉNAGEMENT « NATUREL » DU COURS D'EAU ET PROTECTION CONTRE LES CRUES

La commune de Gurtellen-Wiler a été sévèrement touchée par les crues survenues en 1987 dans la vallée de la Reuss. La Reuss forme trois méandres à Gurtellen (Fig. 1). Les crues im-

portantes provoquent une forte érosion du lit et des berges qui augmente la courbure des méandres. C'est ce phénomène qui fut à l'origine des dégâts très importants enregistrés par la commune (Fig. 2). Ce site a été l'un des premiers à être géré suivant la nouvelle philosophie de protection contre les crues adoptée en Suisse et malgré la grande force destructive de la Reuss à cet endroit, il a été décidé de procéder à un aménagement « naturel » de la rivière en conservant son tracé d'origine (Schleiss et al. 1992). A l'aide de trois principaux éléments de protection (A, B, C dans la figure 2), il a été possible de stabiliser les méandres, même pour les débits les plus forts (Schleiss 1996):

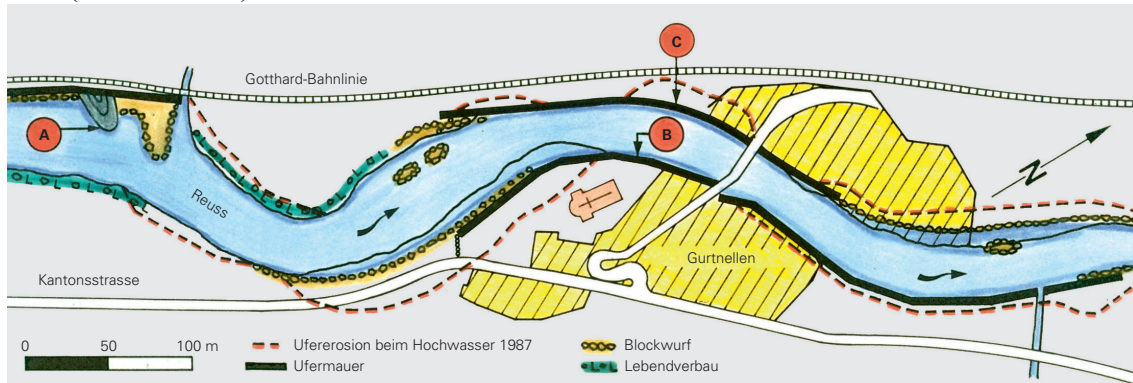


Figure 2. Erosion des rives par la crue de 1987 à Gurnellen-Wiler et mesures de protection réalisées (A, B, C).

- Surélévation d'un éperon rocheux naturel accompagnée de la création d'une presqu'île artificielle (A) : cet aménagement permet de stabiliser le méandre supérieur de la Reuss et de diriger le courant de façon optimale vers les méandres inférieurs. L'éperon rocheux a été doté d'une surface d'apparence « naturelle » similaire à celle d'une falaise livrant un habitat rapidement colonisé par plusieurs espèces protégées (Fig. 3).
- Mur de protection recouvert en amont de l'église (B) : le courant détourné par l'éperon rocheux artificiel percute sur la rive opposée un mur de protection recouvert de matériaux meubles. Ce mur protège le village au niveau de l'église et dirige l'écoulement de manière optimale vers le méandre suivant.
- Mur de rive incurvé en amont du pont historique (C) : le mur revêtu en maçonnerie qui longe la ligne ferroviaire du Gothard stabilise le méandre inférieur. La courbure du mur de protection a été optimisée dans un modèle hydraulique pour assurer la conservation du pont à arches historique.

Ces aménagements ont permis de conserver le caractère naturel de la Reuss et de valoriser le village de Gurnellen-Wiler.



Figure 3: Eperon rocheux artificiel destiné à stabiliser les méandres de Gurnellen-Wiler.

5 VALORISATION DES ENROCHEMENTS DU POINT DE VUE ÉCOLOGIQUE

Les enrochements sont les protections de rive le plus souvent utilisées. Pour profiter au maximum du potentiel écologique de cette mesure, même dans un tronçon rectiligne, les enrochements ne devraient pas être alignés géométriquement, mais disposés de manière légèrement ondulée (Fig. 4). La ligne du pied des enrochements devrait se situer dans une bande correspondant à 1 à 2 fois la hauteur de l'enrochement. En même temps, une variation irrégulière des talus entre les parties raides (max. 4:5) et à faible pente (jusqu'à 1:2) est souhaitable. Le choix d'un tracé et de pentes de talus variés présente les avantages suivants:

- l'impression d'une mesure de protection de rive très géométrique et monotone est diminuée en faveur d'une rive plus naturelle;
- la rugosité de la rive est augmentée grâce à sa forme non uniforme qui, en même temps, contribue à réduire le danger d'affouillement du pied;
- les baies ainsi créées peuvent servir de refuge aux poissons pendant les crues.

Le choix d'un tracé et de pentes de talus variables représente un premier pas vers une intégration satisfaisante de l'enrochement dans le paysage. La végétation des rives constitue un autre élément important. La croissance de la végétation riveraine peut être favorisée en recouvrant l'enrochement avec du terrain meuble et de la terre végétale jusqu'au niveau d'une crue décennale ou cinquantennale (Fig. 6). Les matériaux d'excavation ou de la terre végétale peuvent servir de remblai. Les matériaux d'excavation favorisent plutôt la végétation typique des lieux secs, tandis que la végétation grasse se développera sur les matériaux organiques.

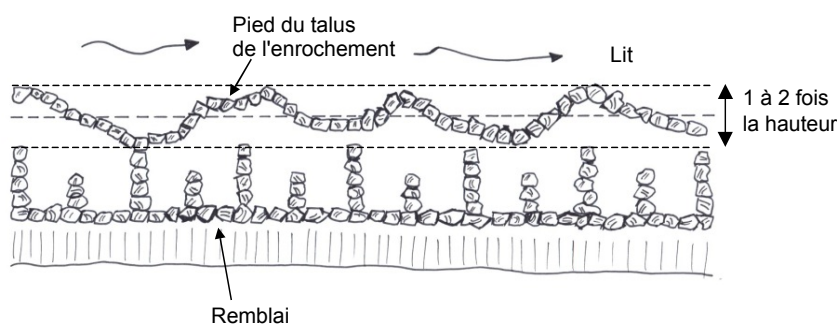


Figure 4. Ligne ondulée du pied du talus d'un enrochement dans un tronçon rectiligne d'une rivière (pente moyenne du talus 2:3).



Figure 5. Enrochement partiellement recouvert par de la terre végétale. Photo prise durant le 2ème été après la fin des travaux.

L'épaisseur de ce remblai devrait atteindre une fois le diamètre des blocs au minimum. Les joints de l'enrochement situé sous le remblai à réaliser doivent être remplis hydrauliquement, en ajoutant beaucoup d'eau aux matériaux meubles. La réalisation de la couverture des enrochements est facilitée si la pente de cette partie supérieure est faible et si l'enrochement est réduit à une seule couche (Fig. 6).

Les plantations en continu le long des rives et en rangées régulières, par exemple des saules, ne sont pas très naturelles. L'utilisation des plantes locales et la prévision d'espaces libres pour leur prolifération naturelle est beaucoup plus adaptée.

Si les talus des rives sont longs, des risbermes le long du cours d'eau devraient être prévues. Ces risbermes, selon leur largeur, peuvent servir de chemins pédestres (1 à 2 m) ou chemins d'entretien (env. 3 m) (Fig. 6).

Avec des groupes de blocs placés au pied de l'enrochement, des refuges supplémentaires pour les poissons peuvent être créés (Fig. 6). Ces refuges sont disposés à distance irrégulière le long de la rive, mais pas à l'extérieur d'une courbe. Les plus gros blocs des enrochements peuvent être sélectionnés pour la réalisation de ces refuges. Ils sont posés sur le tapis des blocs qui protègent le pied de l'enrochement contre l'affouillement. Pour que ces groupes de blocs résistent aux crues, ils doivent être, si possible, combinés à des blocs résiduels près des rives.

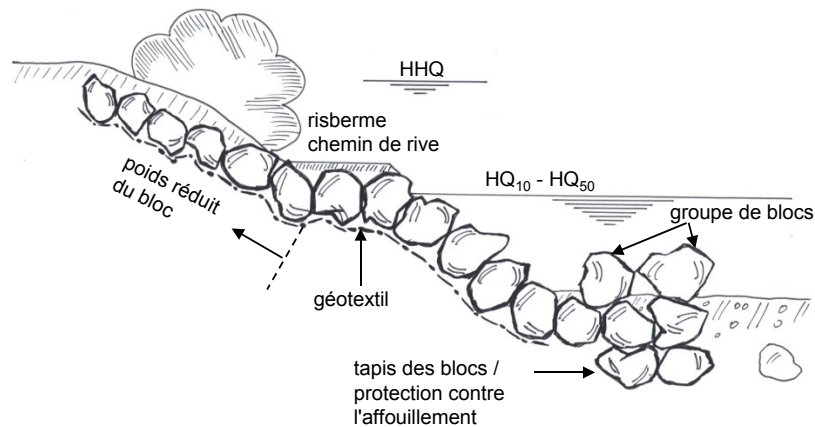


Figure 6. Enrochement avec risberme comme chemin de rive. Groupe de blocs comme refuge de poissons au pied de l'enrochement.

Le tracé ondulé mentionné crée également des zones d'eau morte qui servent de refuge aux poissons.

L'influence de la macro-rugosité d'un enrochement sur le charriage et l'érosion en courbe a été étudiée d'une manière systématique. Il a été observé qu'un enrochement ondulé réduit fortement le potentiel d'affouillement en courbe (Chèvre 2004).

6 ELARGISSEMENT LOCAL DE L'AFFLUENT DANS LA ZONE DE CONFLUENCE DANS LE CADRE DES PROJETS DE REVITALISATION FLUVIALE

Lors de la correction des cours d'eau les affluents ont également été canalisés et souvent déconnectés de la rivière principale par l'installation d'un seuil. Ces interventions ont considérablement appauvri la valeur écologique de ces systèmes.

Les confluences sont les nœuds des réseaux fluviaux

- du point de vue hydraulique: la complexité hydrodynamique associée aux différents régimes de transport solide génère des zones de dépôt et d'érosion qui peuvent avoir des conséquences importantes lors de crues (Boyer et al. 2006) ;
- du point de vue environnemental: la garantie de la connectivité latérale et longitudinale et aussi de l'apport de matières organiques est importante pour la survie des écosystèmes fluviaux.

Les divers paramètres relatifs aux débits, régimes de transport solide, apports organiques et à la morphologie concourent à une hétérogénéité environnementale des confluences trouvée nulle part ailleurs dans les autres tronçons de rivières (Rice et al. 2008).

Les projets de renaturation des cours d'eau n'atteignent pas les objectifs souhaités si la connectivité latérale et longitudinale du réseau est interrompue. Pour cette raison, les confluences doivent être traitées avec la plus grande attention (Fig. 7).

Un élargissement local de l'affluent dans la zone de confluence permet une augmentation de la variabilité des paramètres importants pour le rétablissement des habitats, comme les profondeurs d'eau, les vitesses d'écoulement et la nature du substrat. Cette intervention est très importante pour le rétablissement de la connectivité latérale.

Les changements morphologiques dus à l'expansion locale de l'affluent à son embouchure n'ont pas d'influence sur les niveaux d'eau ni sur la morphologie de l'affluent à l'amont de l'élargissement. Ce résultat indique qu'une intervention locale dans la zone de confluence ne produit pas d'effets contraires pour la protection contre les crues. Ceci est principalement dû au caractère local de l'élargissement où la capacité de transport solide, initialement réduite, est rapidement rééquilibrée par une légère aggradation et par la déviation du corridor d'écoulement du canal principal.

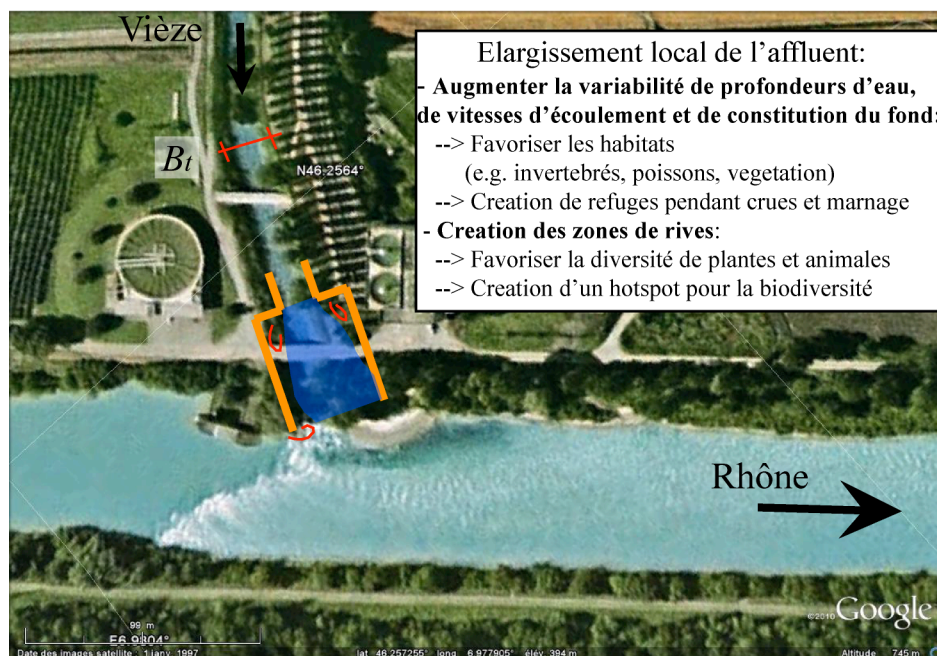


Figure 7. Potentiel écologique d'un élargissement local de l'affluent dans la zone de confluence.

Les recommandations suivantes pour la pratique peuvent être données:

- L'élargissement local de l'affluent dans la zone de confluence est une solution très avantageuse pour le rétablissement de la connectivité latérale. De surcroît, vu son caractère local, le coût de cette intervention est relativement faible.
- Sur la base des résultats expérimentaux, il est possible de conclure qu'un élargissement égal à 3 fois la largeur de l'affluent ($B_w=3*B_t$) sur une longueur de 4 fois cette largeur ($L_w=4*B_t$) est suffisant pour atteindre les objectifs de renaturation, sans effets négatifs sur la protection contre les crues dans la rivière principale.
- Dans la systématisation des essais de laboratoire, seuls des élargissements rectangulaires ont été examinés. Même dans des configurations aussi simplifiées, des résultats satisfaisants ont été obtenus. Cependant, un élargissement progressif s'avère plus fonctionnel dans l'espace disponible (Bidaud 2010).
- Dans les affluents aménagés, il arrive fréquemment que l'apport solide ait été artificiellement réduit par l'installation de dépotoirs, dans un objectif de protection contre les crues. Dans de tels cas, des interventions doivent être envisagées au besoin pour rétablir un régime de transport solide adapté à la morpho-dynamique de la confluence.

7 LES SYNERGIES DANS LE CADRE DES PROJETS À BUTS MULTIPLES

Aujourd'hui, les projets d'économie des eaux tels que les projets de protection contre les crues, d'exploitation de la force hydraulique ou de revitalisation des cours d'eau ne peuvent pratiquement plus être réalisés isolément étant donné qu'ils se heurtent souvent à des conflits d'intérêts insurmontables et à des difficultés de financement. Il est donc nécessaire de baser ce type de projets sur une approche globale et durable en faisant intervenir autant d'intéressés que possible dans leur planification. Ce type d'approche peut être réalisé dans le cadre de projets à buts multiples innovants conçus pour satisfaire différents intérêts et pour atteindre différents types d'objectifs à la fois (Fig. 8).

Comme la plupart des fleuves et grandes rivières alpins, le Rhône a été corrigé et canalisé au siècle dernier. Il se trouve aujourd'hui tiraillé entre impératifs de protection contre les crues et enjeux divers ayant trait à l'agriculture, à l'industrie, à la production hydroélectrique, à la protection de la nature et aux activités de loisirs.

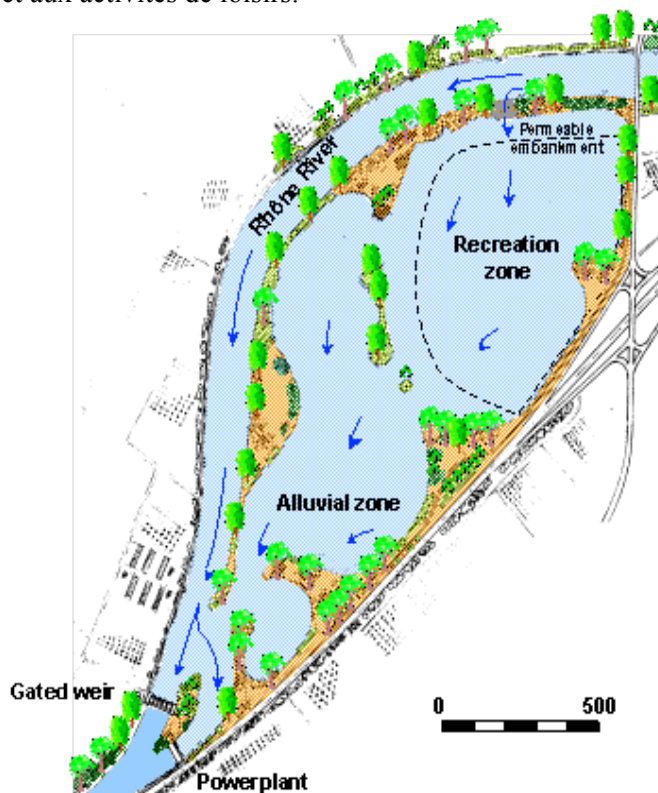


Figure 8. Disposition générale d'un aménagement à buts multiples sur le Rhône.

C'est dans ce contexte qu'il faut placer la troisième correction du Rhône, dont la réalisation occupera certainement plusieurs générations. Ce grand projet ne peut que profiter de projets à buts multiples de conception globale et durable (Heller&Schleiss 2012). Dans le cadre du projet de recherche SYNERGIE, une équipe interdisciplinaire composée d'hydrauliciens, d'environnementalistes et d'architectes analyse l'ensemble des facteurs d'influence d'ordre technique, écologique et socio-économique ainsi que leurs interactions pour élaborer un projet à buts multiples sur le Rhône. D'après cette étude, il existerait un certain nombre de synergies potentielles entre les domaines suivants (Fig. 8):

- protection contre les crues : laminage des crues par rétention et gestion contrôlée des zones de débordement et d'épanchements ;
- régulation écologique des débits : élimination des effets néfastes du marnage ;
- création de biotopes : zones d'eau peu profonde, réserves d'oiseaux d'eau, plaines alluviales submergées périodiquement ;
- zones de loisirs : sports nautiques, chemins de randonnée pédestre et équestre, pêche de loisir, ponts et passerelles et autres ;

- aménagements hydroélectriques : production d'énergie de base par régulation écologique des débits, énergie renouvelable non émettrice de CO₂.

Dans le cadre du projet SYNERGIE des conceptions innovatrices ainsi que des méthodologies et des stratégies pour l'analyse des synergies qu'offrent les aménagements hydrauliques à buts multiples ont été développées.

8 CONCLUSIONS: MESURES DURABLES D'AMÉNAGEMENTS FLUVIAUX

« L'onde frémit, l'onde s'agite; au bord est un jeune pêcheur. »

Ces vers d'Albert Duboys adaptés de Goethe illustrent bien le fait qu'un cours d'eau dynamique peut être à la fois un espace de vie précieux et un espace de loisir apprécié. Il n'en reste pas moins impossible de rendre aux rivières une dynamique totalement débridée dans les zones fortement peuplées. Les cours d'eau corrigés et monotones présentent cependant des déficits aussi bien du point de vue sécuritaire qu'écologique et ce notamment parce que les ouvrages de protection respectent souvent trop peu le caractère originel des cours d'eau. Dans le cadre des projets de protection contre les crues et de revitalisation, il faut donc développer des solutions innovantes pour rendre au cours d'eau une certaine dynamique et donc une certaine diversité structurelle dans la limite de l'espace disponible. Mais il est également important de tenir compte des autres intérêts en jeu tels que les loisirs, l'agriculture, la protection des infrastructures, la production hydroélectrique et l'approvisionnement en eau potable. Cela signifie que les mesures d'aménagements fluviaux ne doivent plus être uniquement conçues et réalisées dans un souci de protection contre les crues mais doivent également répondre aux préoccupations d'ordre environnemental, social et économique.

REFERENCES

- Bundesamt für Wasser und Geologie (2001). Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung 2001, BWG, Biel.
- Bidaud, L. (2010). Etude morphologique de confluences alpines. Application à la jonction du Rhône et de la Borgne, Travail de master, LCH-EPFL.
- Boyer, C., A. G. Roy, and J. L. Best (2006), Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: Flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology, *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-22.
- Chèvre Ph. (2004). Influence de la macro-rugosité d'un enrochement sur le charriage et l'érosion en courbe. Communication No 19 du Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Ed. A. Schleiss, 243 p
- Gostner, W., Schleiss, A. (2012). Indice hydromorphologique de la diversité. Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, Fiche 3, pp. 1-6
- Heller, P., Schleiss, A. J. (2011). Aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples : résolution du marnage artificiel et conséquences sur les objectifs écologique, énergétique et social. *La Houille Blanche*, 6/2011, doi : 10.1051/lhb/2011059., pp. 34-41
- Leite Ribeiro, M., Blanckaert, K., Boillat, J.-L., Schleiss, A. (2012) Elargissement local des embouchures. Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, Fiche 5, pp. 1-4
- Leite Ribeiro, M., Blanckaert, K., Boillat, J.-L. et Schleiss, A.J. (2011), Elargissement local de l'affluent dans une zone de confluence - Comportement morphologique et potentiel écologique. *Eau-Energie Air*. 103: 235-242.
- Rice, S. P., P. Kiffney, C. Greene, and G. R. Pess (2008). The Ecological Importance of Tributaries and Confluences, 209-242 pp., John Wiley & Sons, Ltd.
- Scheidegger, C., Werth, S., Gostner, W., Schleiss, A, Peter, A. (2012). Amélioration de la dynamique", Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, Fiche 1, pp. 1-6
- Schleiss, A. (1996). Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtellen, *Wasser, Energie, Luft*; Heft 5/6, pp. 93-98
- Schleiss, A (2000). Conception et dimensionnement des enrochements en rivière en montagne. *Ingénieurs et Architectes Suisses - IAS*, No. 23, 450-453