Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 100 (2008)
Heft: 3

Artikel: Réponse écologique d'un aménagement hydraulique à buts multiples, basés sur la richesse prédite des macros-invertébrés et des valeurs d'habitat de poissons

Autor: Pellaud, Marc / Schlaepfer, Rodolphe

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939702

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: 04.07.2025

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

Réponse écologique d'un aménagement hydraulique à buts multiples, basée sur la richesse prédite des macros-invertébrés et des valeurs d'habitat de poissons

Marc Pellaud, Rodolphe Schlaepfer

Résumé

L'objectif du module «Ecologie» du projet SYNERGIE est de prédire la réponse écologique conséquente à la conception et à la gestion d'un projet d'aménagement fluvial à buts multiples. Le réservoir, la rivière à poissons et la rivière aval sont les éléments retenus pour l'étude. La qualité écologique de la rivière aval est mesurée à l'aide de la richesse de macro-invertébrés et de la valeur de l'habitat pour les poissons, les deux considérées comme étant dépendantes de variables hydrauliques et morphologiques. Un modèle mathématique a été développé et appliqué à 4 scénarios au Rhône. La meilleure réponse écologique est celle du scénario proposant à la fois une solution pour mitiger l'effet marnage couplé à une diversification morphologique des berges.

Zusammenfassung

Das Modul «Ökologie» des Projektes SYNERGIE erlaubt es, den Einfluss der Gestaltung und des Betriebes eines Mehrzwecklaufwasserkraftwerkes auf die ökologischen Auswirkungen vorauszusagen. Der Speicher, das Umgehungsgerinne sowie die Verhältnisse im Unterwasser werden dabei in der ökologischen Modellierung berücksichtigt. Die ökologische Qualität des Gewässers wird mit dem Reichtum der wirbellosen Tiere (Makroinvertebraten) und der Wertigkeit der Fischhabitate gemessen. Diese beiden Indikatoren hängen dabei von den morphologischen und hydraulischen Parameter ab. Ein ökologisches Simulationsmodell wurde entwickelt und an 4 Szenarien in der Rhone angewandt. Die beste ökologische Wirkung kann erzielt werden, wenn die Revitalisierung des Gewässers durch Verbesserung der Gerinnemorphologie gleichzeitig mit einer Abminderung der Schwall- und Sunkerscheinungen dank dem Mehrzwecklaufwasserkraftwerk erfolgt.

1. Introduction

La problématique écologique au sein d'un projet tel que SYNERGIE est de taille. Nos plaines alluviales, nos rivières et nos zones humides ont subi des décennies de perturbations d'origine anthropique (marnage, enrochement des berges, drainage, etc.). Un projet à buts multiples se doit d'intégrer la problématique écologique, et ce, dès la phase conceptuelle. Cette approche présente deux atouts principaux:

- elle évite le «bricolage» écologique souvent observé en post-implémentation de projet (e.g. pose d'une échelle à poissons, élargissement des berges, etc.). Ces mesures sont généralement couteuses avec des résultats mitigés. La prise en compte dès la phase de conception des considérations écologiques est susceptible d'améliorer l'état actuel.
- elle favorise l'acceptation du projet en limitant les oppositions venant des «écologistes» en les impliquant dans le projet. Cette partie traite donc du développement et de l'implémentation du Volet C dans un module «Ecologique» intégré dans l'optimiseur général du projet SYNERGIE (Volet B, Chapitre 3).

Ce module vise à répondre à la question suivante: Quelle est la réponse écologique prédite conséquente au design et à la gestion d'un projet tel que SYNERGIE?

Une description conceptuelle du site d'étude (Riddes – VS) est présentée par Heller (2007). Au niveau du module écologique, les composantes du projet retenues sont:

- Le réservoir
- La rivière à poissons
- La rivière aval

Les deux premières composantes ne font pas directement partie du module, mais leur design est encadré par des considérations écologiques générales visant à maximiser leur intégrité écologique. La composante rivière aval est elle complètement intégrée dans le module écologique et sert de système d'évaluation de la réponse écologique conséquente au projet. Nos hypothèses de travail sont:

- une richesse prédite élevée traduit une qualité écologique du milieu élevée et
- une note d'habitat élevée traduit une qualité écologique élevée.

Des données provenant de la littérature ont permis le développement de modèles de prédiction de la richesse de certains macro-invertébrés ainsi que des notes d'habitat pour les guildes de poissons. Quatre scénarios comprenant: (1) le Rhône dans son état actuel, (2) le Rhône avec son lit hypothétiquement élargi (amélioration morphologie), (3) le Rhône avec un bassin SYNERGIE optimisé par Heller (2007) (solution marnage) et (4) le Rhône élargi couplé avec un bassin SYNERGIE (amélioration morphologique couplée à une solution marnage).

2. Etat des connaissances

Un état de la connaissance sur les systèmes fluviaux, leur écologie et l'évaluation de leur qualité écologique a permis:

- L'identification des perturbations d'origine anthropique sur les rivières en général et plus particulièrement sur le Haut Rhône valaisan. De manière générale, l'isolation des rivières de leur

plaine alluviale par l'enrochement des berges et la régulation des débits est source de nombreuses perturbations sur les processus écologiques. Plus particulièrement pour le cas du Rhône, le marnage a été identifié comme une perturbation majeure. Le marnage correspond au phénomène conséquent au turbinage synchronisé des usines hydro-électriques engendrant des hausses quotidiennes de niveau dans le Rhône pouvant atteindre jusqu'à plus d'1 m en très peu de temps. L'absence de milieux lentiques dans la plaine du Rhône valaisan a également été observée.

- La sélection de deux bio-indicateurs pour l'évaluation de la réponse écologique conséquente à des variables de design et de gestion d'un projet tel que SYNERGIE:
  - La richesse taxonomique (ici nombre de familles) de trois groupes de macro-invertébrés aquatiques, les Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT).
  - Quatre guildes (groupes d'espèces/tailles partageant une écologie similaire) de poissons: (berges – radiers – mouilles – cours plein). Une note de la valeur d'habitat de chaque guilde sert d'indication sur la qualité écologique du milieu (en anglais Habitat Suitability Index HSI).
- Le rassemblement des données existantes sur le Haut Rhône valaisan.
- La sélection de techniques de modélisation menant à la prédiction de la réponse écologique et à l'appréciation des effets morphologiques et hydrologiques sur les bio-indicateurs choisis.

3. Méthodes

Le module écologique se base uniquement sur trois composantes du système SYNERGIE. Les composantes «réservoirs» et «rivière à poissons» qui ont pour buts écologiques une amélioration de l'intégrité écologique au niveau local et la limitation de l'effet causé par la centrale et le barrage. La composante «rivière aval» intègre la réponse écologique conséquente à un aménagement. Les effets écologiques induits par les deux premières composantes ne rentrent pas directement dans l'évaluation de la réponse écologique, qui sera mesurée sur la rivière aval uniquement.

3.1 Le réservoir

La finalité du réservoir à l'échelle de la rivière est de tamponner l'effet marnage en subissant des variations de niveaux induites par la régulation du débit à la sortie de l'aménagement. Le rôle principal du réservoir est donc principalement voué à la partie aval de la rivière mais cela n'est pas forcément antagoniste avec l'amélioration locale de la qualité écologique du milieu. Des structures nommées ourlets écologiques *(Figure 1)* sont mises en place. Lors des hautes eaux, les parties écotonales (situées entre le milieu terrestre et aquatique) sont alimentées en eau. Lorsque le niveau baisse, ces zones sont maintenues en eau et peuvent se réchauffer. L'avantage est double, il permet le développement de ces zones riches et en fort déficit dans la plaine du Rhône et une bonne intégration visuelle par le gommage de l'effet causé par la variation des niveaux dans le réservoir. Ces zones seraient propice au développement de jeunes poissons, batraciens et insectes ainsi qu'au développement des hélophytes associés typiquement à se genre de milieux (e.g. phragmites).

L'allocation d'une zone sanctuaire d'accès public limité serait également à prévoir, de manière à garantir un lieu de refuge à la faune.

3.2 La rivière à poissons

Le rôle de la rivière à poissons est double. Son premier objectif est le maintien du continuum amont-aval et la mitigation de l'effet barrage, connu pour ses conséquences néfastes sur l'écologie du milieu. Son deuxième objectif est de permettre le développement d'une zone limitée à caractère naturel représentée par une rivière alternant radiers et mouilles et jonchée d'une végétation type. Non seulement toutes les espèces de poissons mais aussi de macro-invertébrés seraient susceptibles de transiter par cet ouvrage, et ce, dans le sens amont-aval ou aval-amont *(Figure 2)*. De plus, une passe à bassins serait disposée à la sortie des turbines de manière à «récupérer» les salmonidés n'ayant pas suivit le courant d'appel de la rivière à poisson et se retrouvant bloqués devant les turbines.

Figure 2. Rivière à poissons à Ruppoldingen.

3.3 La rivière aval

Les 50 kilomètres de rivière situés entre le site de Riddes et l'embouchure du Léman seraient les véritables bénéficiaires d'un tel aménagement. C'est à ce niveau spatial que s'exprime la réponse écologique suivant un tel aménagement. C'est donc sur cette échelle que le module écologique se concentre, d'une part sur la prédiction de la richesse EPT, et d'autre part, sur l'évaluation de la qualité de l'habitat pour quatre guildes de poissons.

Le premier type de bio-indicateur choisi se base sur des valeurs d'habitat pour quatre guildes de poissons. La détermination des valeurs d'habitat par guildes s'inspirent des travaux de Lamouroux et

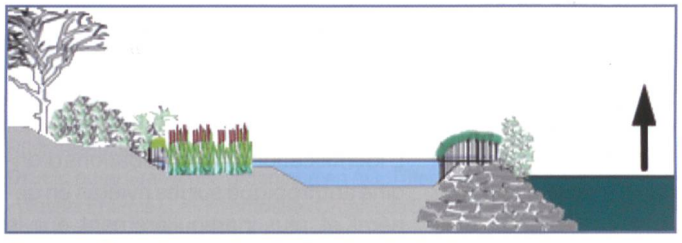

Figure 1. Représentation de l'ourlet écologique sur les berges du réservoir.

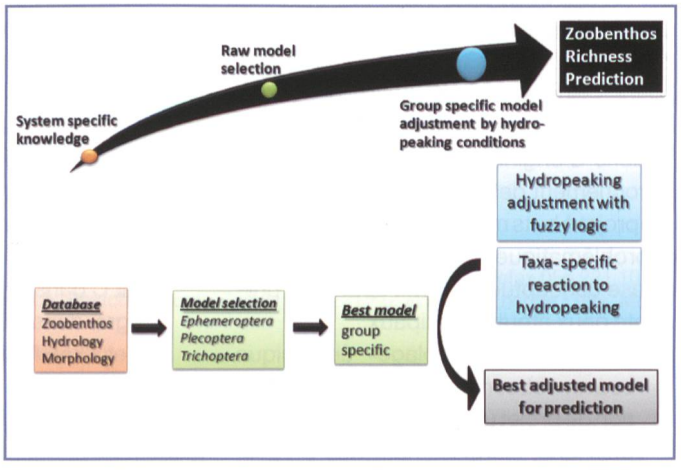

Figure 3. Méthode générale de prédiction de la richesse EPT.

La guilde berge – regroupant les individus ayant une affinité pour des milieux peu-profonds, avec des vitesses de courant faibles et un substrat relativement fin. La valeur horaire d'habitat pour cette guilde se détermine comme suit:

$$HSI_{Bi} = \left(0.103 - 0.010 * \ln\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{Q}{g^{0.5}Z^{1.5}W}\right)_i\right) * \left[1 + 4.17 * \exp\left(-23.61 * \frac{Q_i}{10 * W_i}\right)\right] + e_i \quad 1)$$

La valeur annuelle d'habitat étant déterminée comme suit: $HV_B = \int_1^N HSI_{Bi}\,di$

La guilde radier – regroupant les individus ayant une affinité pour les milieux peu profonds, avec des vitesses de courant moyennes à élevées et un substrat de taille moyenne. La valeur horaire d'habitat pour cette guilde se détermine comme suit:

$$HSI_{Ri} = \left(1.074 + 0.281 * \ln\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{Q}{g^{0.5}Z^{1.5}W}\right)_i + 0.3 * \frac{D}{Z}\right) * \left[\left(\frac{Q_i}{10 * W_i}\right)^{0.09} * \exp\left(-15.13 * \frac{10}{Q_i * W_i}\right)\right] + e_i \quad 2)$$

La valeur annuelle d'habitat étant déterminée comme suit: $HV_B = \int_1^N HSI_{Bi}\,di$

La guilde mouille – regroupant les individus ayant une affinité pour des milieux profonds, avec des vitesses de courant lentes et un substrat fin. La valeur horaire d'habitat pour cette guilde se détermine comme suit:

$$HSI_{Pi} = \left(0.026 - 0.039 * \ln\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{Q}{g^{0.5}Z^{1.5}W}\right)_i\right) * \left[1 + 4.17 * \exp\left(-23.61 * \frac{Q_i}{10 * W_i}\right)\right] + e_i \quad 3)$$

La valeur annuelle d'habitat étant déterminée comme suit: $HV_P = \int_1^N HSI_{Pi}\,di$

La guilde cours plein – regroupant les individus ayant une affinité pour des milieux profonds, avec des vitesses de courant élevées et un substrat grossier. La valeur horaire d'habitat pour cette guilde se détermine comme suit:

$$HSI_{Mi} = \left(1.352 + 0.713 * \frac{D}{Z} + 0.16 * \ln\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{Q}{10 * W}\right)_i\right) * \left[\left(\frac{Q_i}{10 * W_i}\right)^{0.32} * \exp\left(-2.87 * \frac{Q_i}{10 * W_i}\right)\right] + e_i \quad 4)$$

La valeur annuelle d'habitat étant déterminée comme suit: $HV_M = \int_1^N HSI_{Mi}\,di$

Souchon (2002). Pour la signification des symboles utilisés, voir sous 6. Notations.

L'ensemble des valeurs comprises entre 0 et 1 sont multipliées par la surface en eau de la rivière aval de manière à donner des surfaces pondérées utiles (en ha) pour chacune des guildes.

Le deuxième type de bio-indicateur choisi se base sur des richesses prédites (niveau taxonomique de la famille) des ordres Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères. La méthodologie générale est explicitée à la *Figure 3*.

Des relevés faunistiques associés à des variables morphologiques et hydrauliques servent de base à l'élaboration de plusieurs modèles paramétriques et non-paramétriques. Une sélection du modèle menant à l'erreur à la prédiction la plus faible est ensuite effectuée. Cette sélection se base sur une validation croisée avec des permutations de Monte Carlo. Le modèle ayant le moins d'erreur à la prédiction est gardé pour chacun des groupes taxonomiques. Le meilleur modèle non ajusté de prédiction de la richesse pour les Ephéméroptères étant:

$Y_E = 2.16 + 0.43Co + 0.02Gr - 2.96HS + 0.1Z + 0.68S - 0.01KmS$

Pour les Plécoptères:

$Y_P = 9.48 - 0.73Bl - 0.38Fi - 1.6HS + 0.47Z - 22.25HL - 0.02KmS$

Pour les Trichoptères:

$Y_T = 1.62$

L'effet marnage est par la suite évalué par un système d'inférence flou prenant en compte l'aspect morphologique dans l'évaluation ainsi que la réponse au marnage spécifique à chaque groupe. Le tout permet d'ajuster les meilleurs modèles de chaque groupe. Les résultats sont horaires sur une année, leurs moyennes annuelles étant retenues et sommées en un seul indice de prédiction de la richesse EPT.

4. Analyse des différents scénarios

Le module écologique a analysé la réponse écologique sur quatre scénarios dont les détails sont disponibles dans le travail de thèse de Pellaud (2007):

- Scénario 1 – Le Rhône à Riddes dans sa configuration actuelle, variante sans projet.
- Scénario 2 – Le Rhône à Riddes avec un élargissement hypothétique de son lit d'environ 40%.
- Scénario 3 – Le Rhône à Riddes avec un bassin SYNERGIE optimisé par Heller (2007).
- Scénario 4 – Le Rhône à Riddes avec un élargissement hypothétique de son lit couplé à un bassin SYNERGIE optimisé par Heller (2007).

Les poissons semblent véritablement profiter d'un élargissement des berges et être moins sensibles à la mitigation du marnage *(Figure 4)*.

Les macro-invertébrés semblent nettement plus sensibles à l'effet marnage *(Figure 5)*. En effet, un élargissement sans prise en compte de l'effet marnage ne contribue que marginalement à l'amélioration de la qualité écologique du milieu. Il parait néanmoins que le scénario menant à la meilleure réponse écologique est le scénario 4 – proposant à la fois une solution permettant de mitiger l'effet marnage couplé à une diversification morphologique des berges.

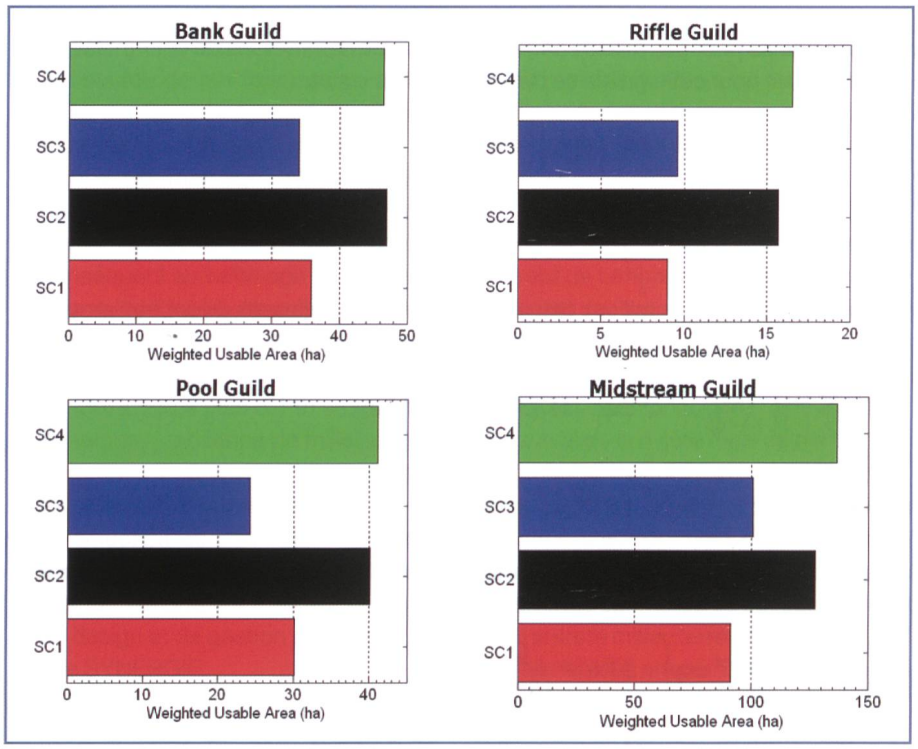

Figure 4. Résultats des surfaces pondérées utiles obtenues (SCi = Scénario i).

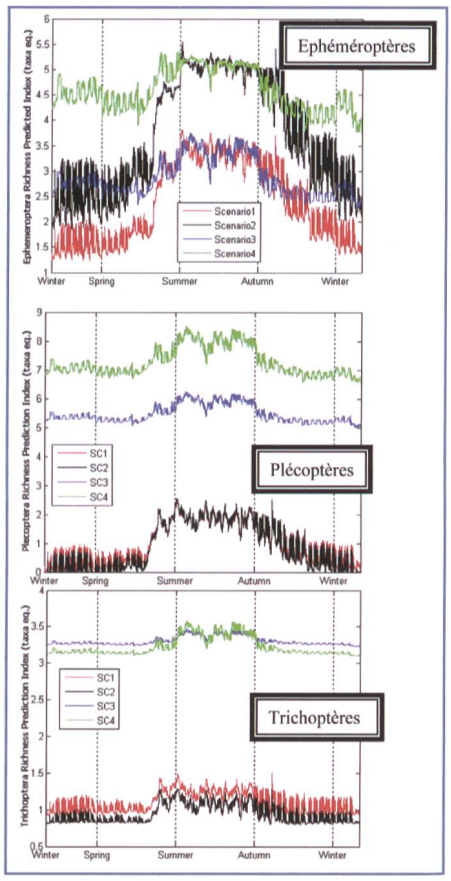

Figure 5. Résultats des prédictions de la richesse EPT (SCi = Scénario i).

5. Conclusions

Des considérations écologiques générales sont susceptibles d'améliorer l'intégrité écologique à l'échelle de l'ouvrage. En faisant la promotion de milieux disparus, le réservoir diversifie la plaine du Rhône.

Une méthode d'évaluation de la réponse écologique à l'aval de l'ouvrage a été développée mettant en jeux des notes d'habitat de quatre guildes de poissons et des prédictions de richesse de trois groupes taxonomiques de macro-invertébrés aquatiques. Il s'avère que l'utilisation des guildes de poissons comme bio-indicateurs ne parait pas très pertinente de part le manque de réactivité des notes d'habitat et des nombreuses incertitudes concernant l'effet du marnage sur les guildes de poissons.

De nombreuses perspectives sont offertes par le projet SYNERGIE. Ce projet offre une solution à l'ensemble des producteurs hydro-électriques soucieux de réduire le marnage. D'un point de vue écologique, de plus amples connaissances sur les effets du marnage sur la faune et la flore aquatique sont encore à acquérir avant de prétendre évaluer cet effet de manière précise. Les résultats de ce travail mettent cependant en évidence le besoin de prendre en compte l'aspect morphologique de la rivière dans l'évaluation cet effet marnage. Les modèles développés sur les macro-invertébrés sont partiellement validés mathématiquement mais doivent encore être validés sur le terrain. De plus amples recherches devraient être menées sur le marnage avant de formuler des recommandations légales sur les tolérances allouées au marnage dans nos rivières.

6. Notations

L'ensemble des variables utilisées sont détaillées dans Pellaud (2007).

N: nombre d'heures (1 année → 8760)
Q: débit (m^3/s)
g=9.81 m/s^{-2}
Z: profondeur (m)
W: largeur lit mouillé (m)
e: erreur aléatoire
D: granulométrie médiane (m)
Co: % galets (20–200 mm)
Bl: % block (>200 mm)
Gr: % graviers (2–20 mm)
Fi: % fines (<0.02 mm)
HS: intégrateur marnage courte durée (m)
HL: intégrateur marnage annuel (m)
S: vitesse du courant (m/s)
KmS: distance à la source (km)

Remerciements

Ce projet de recherche est financé par la Commission Fédérale pour la Technologie et l'Innovation (Switzerland, projet CTI n° 6794.1 FHS-IW) ainsi que par l'Office Fédéral de l'Environnement (Switzerland, projet Rhône-Thur, module IV, sous-module 4), l'Etat du Valais et les Forces Motrices Valaisanne. Le laboratoire de gestion des écosystèmes (EPFL, Switzerland), le bureau d'ingénieurs STUCKY et le groupe ANDRITZ-VATECH ont apporté leur soutien dans les domaines écologiques et techniques respectivement.

Bibliographie

Lamouroux, N. et Y. Souchon (2002). Simple predictions of in stream habitat model outputs for fish habitat guilds in large streams. Freshwater Biology 47(6): 1531–1542.

Heller, P. (2007). Méthodologie pour la conception et la gestion des aménagements hydrauliques à buts multiples par une analyse systémique, thèse n° 3781, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.

Pellaud, M. (2007). «Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richness and fish habitat value,» thèse n° 3807, EPFL, Lausanne, Switzerland.

Adresses des auteurs

Prof. Dr. *Rodolphe Schlaepfer*
EPFL ENAC ISTE-GE
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, CH-1015 Lausanne
Tél. +41 21 693 57 71
rodolphe.schlaepfer@epfl.ch

Marc Pellaud
Lombard Odier Darier Hentsch & Cie – Banquiers Privés
Quantitative Asset Management & Research
Rue de la Corraterie 11, CH-1204 Genève
Tél. +41 22 709 90 20
marc.pellaud@lodh.com