

Transport sédimentaire d'un apport local de sédiments visant à la restauration de frayères : étude couplée laboratoire/terrain/numérique

Sediment transport of a local sediment supply for spawning habitat restoration: a laboratory/field/numerical coupled study

Florent GRATTEPANCHE^{1,3}, Guillaume GOMIT^{1,3}, Damien CALLUAUD^{1,3}, Olivier MERCIER^{2,3}, Dominique CURRET^{2,3}, Pierre SAGNES^{2,3}

¹Institut Pprime, CNRS-Université de Poitiers-Isae Ensma, 86000 Poitiers, France

Email : florent.grattepanche@univ-poitiers.fr

Email : guillaume.gomit@univ-poitiers.fr

Email : damien.calluau@univ-poitiers.fr

²Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Office Français de la Biodiversité (OFB), 31000 Toulouse, France

Email : olivier.mercier@ofb.gouv.fr

Email : dominique.courret@imft.fr

Email : pierre.sagnes@ofb.gouv.fr

³Pôle R&D écohydraulique, OFB-IMFT-PPRIME, 31400 Toulouse, France

RÉSUMÉ

Ce projet, porté par le pôle de R&D en écohydraulique OFB-IMFT-Pprime et la région Nouvelle Aquitaine, vise à mieux comprendre la remobilisation d'un apport local de sédiments dans le cadre de la restauration de grands salmonidés, sous des conditions de débits instationnaires, notamment lors de crues. Une méthodologie intégrée combinant études en laboratoire, mesures de terrain et simulations numériques est mise en œuvre pour étudier un site spécifique de la rivière Marrone (Corrèze). Ce site, situé sur le tronçon court-circuité en aval du barrage d'Hauteffage, est soumis à des hydrogrammes fortement variables lors des débordements du barrage. Ces hydrogrammes sont modélisés dans un canal de laboratoire à partir d'une mise à l'échelle respectant les propriétés des sédiments ainsi que les critères hydrodynamiques basés sur les nombres de Froude et de Shields. Les données obtenues en laboratoire permettront non seulement d'apporter des connaissances fondamentales sur le transport de sédiments sous conditions instationnaires, mais aussi de valider des simulations de transport sans les mêmes conditions. Ces simulations seront ensuite étendues au site d'étude et couplées à des mesures de terrain afin de proposer une méthodologie complète pour évaluer les processus de transport sédimentaire et leur impact sur la restauration des habitats dans le cas spécifique étudié.

ABSTRACT

This project, supported by the pole of R&D in ecohydraulics OFB-IMFT-Pprime and the region Nouvelle Aquitaine, aims to gain a better understanding of the remobilization of a local input of sediment as part of the restoration of spawning grounds for large salmonids, under unsteady flow conditions, particularly during floods. A methodology combining laboratory studies, field measurements and numerical simulations is used to study a specific site on the Marrone River (Corrèze). This site, located on the short-circuited section downstream of the Hauteffage dam, is subject to highly variable hydrographs during dam overflows. These hydrographs are modeled in a laboratory flume using a scaling technique that takes into account sediment properties and hydrodynamic criteria based on Froude and Shields numbers. The data obtained in the laboratory, in addition to providing fundamental knowledge of sediment transport under unsteady conditions, enable transport simulations to be validated without the same conditions. These simulations are then extended to the study site and coupled with field measurements to propose a complete methodology for assessing sediment transport processes and their impact on habitat restoration in a specific case.

MOTS CLÉS

Transport sédimentaire, Ecoulement instationnaire, Technique expérimentale avancée, Simulation numérique, Restauration

Sediment transport, Unsteady flow, Advanced experimental technique, Numerical simulation, restoration

Le projet présenté ici, porté par le pôle de R&D en écohydraulique OFB-IMFT-Pprime et la région Nouvelle-Aquitaine, s'intéresse à la durabilité des apports sédimentaires possédant une granulométrie favorable à la fraie des salmonidés sur la rivière Maronne (Corrèze, Nouvelle-Aquitaine). Le site étudié est situé sur le tronçon court-circuité en aval du barrage de HautePAGE. Ce tronçon peut être soumis à de fortes variations de débit, notamment lors des périodes de crue provoquant le débordement du barrage. L'objectif du projet est de développer une méthodologie combinant observations de terrain, expérimentations en laboratoire et modélisations numériques afin d'évaluer la durabilité d'un apport cible lors de ces épisodes de crue, mais aussi d'étudier l'impact des conditions d'écoulement instationnaires sur le transport des sédiments de façon plus générale.

Dans ce but, les hydrogrammes du site d'étude sont modélisés dans un canal de laboratoire en se basant sur la similitude de Froude et de Shields. Les données obtenues en laboratoire à partir de méthodes permettant des mesures fines des phénomènes physiques permettront d'approfondir les connaissances fondamentales sur le transport de sédiments sous conditions instationnaires et de valider des simulations de transport sans les mêmes conditions, c'est-à-dire en laboratoire. Ces simulations étendues au site d'étude devraient permettre d'aboutir à des outils de prédiction et d'évaluation de la durabilité des apports.

1 SUIVI DU SITE

Afin de modéliser les conditions hydrodynamiques et sédimentaires en laboratoire, des mesures ont été effectuées sur le terrain avant et après des épisodes de crues. Cette analyse a nécessité la mise en place d'une instrumentation spécifique visant à mieux comprendre les phénomènes hydrodynamiques et sédimentaires intervenant lors des crues :

- Un suivi des hydrogrammes a été effectué aux extrémités amont et aval du site.
- Un recensement de la granulométrie de la rivière et du site d'apport a été effectué.
- Un suivi topographique du site et récupération des données lidar IGN (voir la figure 1).

Ces données fournissent des éléments de référence indispensables pour les modèles expérimentaux et numériques. Elles permettent également de visualiser l'impact des hydrogrammes de crue sur les apports en sédiments, en identifiant les modifications du lit.

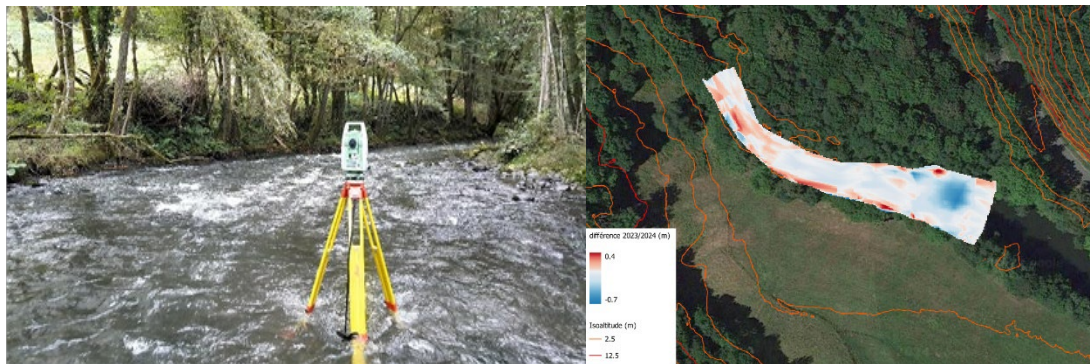


Figure 1 : Mesure des topographies du site d'étude par tachéomètre

2 MODELISATION EN LABORATOIRE

Les caractéristiques hydrauliques et sédimentaires du site ont été modélisées en laboratoire en respectant des critères de similitude basés sur les nombres de Froude et de Shields (Shvidchenko et Kopoliani, 1998). Cette méthode a permis de modéliser, à l'échelle du canal expérimental, les hydrogrammes de crues du site, la rugosité du lit et la granulométrie des sédiments. Ces expériences ont été réalisées dans un canal de 7 mètres de long de la *Plateforme Hydrodynamique Environnementale* de l'Université de Poitiers (figure 2).

Des techniques de mesure avancées, telles que la Particle Image Velocimetry (PIV) et le suivi optique des sédiments modélisant l'apport, ont été utilisées pour analyser les phénomènes physiques liés à la mise en mouvement des sédiments au cours des hydrogrammes (figure 3). Ces mesures de vitesses et de transport sédimentaire permettent de relier les contraintes hydrodynamiques au cours de l'hydrogramme à la mobilité de l'apport (début de mise en mouvement, déplacement de l'apport). Différents hydrogrammes caractérisés par des formes, des pentes (accélération/décélération en débit) et des paramètres d'instationnarité (durée) variables ont été testés pour analyser les effets de ces paramètres sur la mobilité des sédiments (Lee et al. 2004, Bombar

et al. 2011). En effet, si les relations de transport de sédiments dans des conditions d'écoulement constant sont bien établies, l'influence de l'instationnarité sur les sédiments reste peu étudiée (Tabarestani et Zarrati, 2015). De plus, si la plupart des études se focalisent sur des événements isolés, certains auteurs ont étudié des événements cycliques (Plumb et al. 2020) pour analyser les effets de la fréquence de tels événements sur le transport de sédiments. Ainsi, des hydrogrammes issus du site présentant plusieurs pics de crues ont été étudiés (figure 2).

L'ensemble de ces expériences permet une analyse fine des efforts sur le fond sédimentaire au cours des événements de crue modélisés, et ainsi une meilleure compréhension des effets instationnaires de l'écoulement sur la mobilité des sédiments.

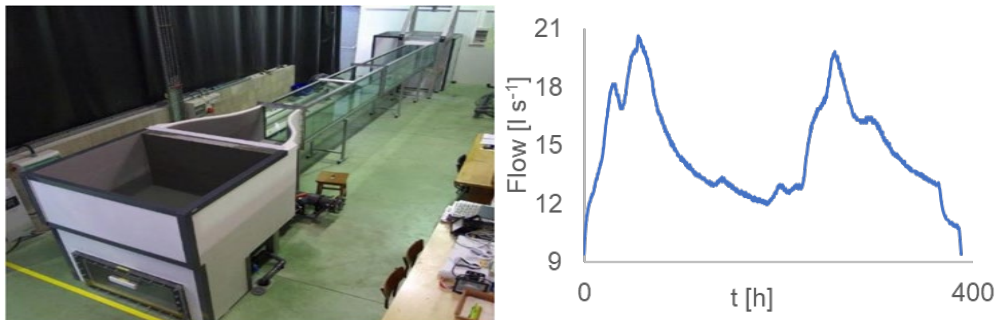


Figure 2 : Modélisation en laboratoire (gauche) canal de l'Institut Pprime (droite) hydrogramme typique du site injecté dans le canal

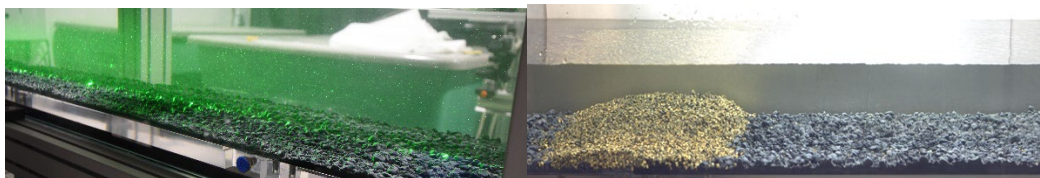


Figure 3 : Mesure de la mobilité d'un apport de sédiment en laboratoire (gauche) Mesure de PIV (droite) image des particules modélisant l'apport

3 SIMULATIONS NUMERIQUES

En complément des données expérimentales, des simulations numériques basées sur la résolution des équations de Saint-Venant, à l'aide du logiciel TELEMAC-GAIA, ont été réalisées (figure 3). Dans un premier temps, les cas utilisés en laboratoire ont été simulés afin de valider les modèles utilisés, en comparant les contraintes hydrodynamiques et la mobilité des apports entre expérience et simulation. À terme, l'ensemble de ces résultats pourrait permettre d'intégrer les paramètres d'instationnarité aux formules de transport sédimentaire existantes. Enfin, après validation sur le cas expérimental, des simulations numériques hydro-sédimentaires du tronçon étudié sont réalisées en injectant les hydrogrammes enregistrés lors d'un épisode de crue, et comparées aux observations de terrain.

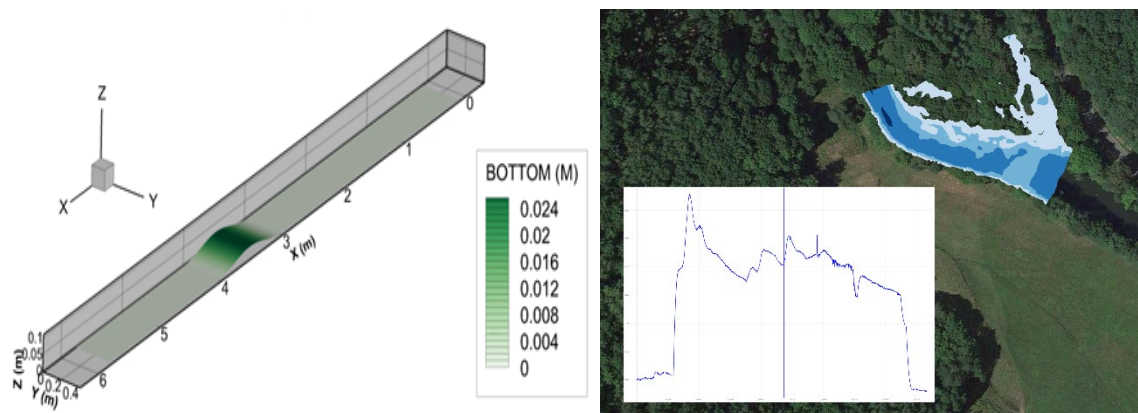


Figure 3 : Simulation numérique d'un apport de sédiments sous conditions instationnaire (gauche) cas laboratoire (droite) simulation du tronçon de la Maronne

La méthodologie proposée, qui s'appuie sur des observations de terrain, des expériences en laboratoire et des modélisations numériques, doit permettre d'approfondir les connaissances fondamentales sur le transport de sédiments dans des conditions instationnaires, et d'améliorer les outils de prédiction visant à évaluer la durabilité des apports et leur mobilité.

REMERCIEMENT

Ce projet est cofinancé par le projet ESR-Nouvelle Aquitaine ERODE et par le pôle de R&D en écohydraulique OFB-IMFT-Pprime.

BIBLIOGRAPHIE

Bombar, G.Ö.; Elçi, Ş.; Tayfur, G.; Güney, M. Ş. & Bor, A., Experimental and numerical investigation of bed-load transport under unsteady flows, *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, **2011**, 137, 1276-1282

Lee, K. T.; Liu, Y.-L. & Cheng, K.-H., Experimental investigation of bedload transport processes under unsteady flow conditions, *Hydrological processes, Wiley Online Library*, **2004**, 18, 2439-2454

Plumb, B. D.; Juez, C.; Annable, W. K.; McKie, C. W. & Franca, M. J., The impact of hydrograph variability and frequency on sediment transport dynamics in a gravel-bed flume, *Earth Surface Processes and Landforms, Wiley Online Library*, 2020, 45, 816-830

Shvidchenko A & Kopalani Z (1998) Hydraulic modeling of bed load transport in gravel-bed Laba River, *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 124, 778-785

Tabarestani M K & Zarrati (2015) A Sediment transport during flood event: a review, *International Journal of Environmental Science and Technology, Springer*, 12, 775-788