

## *Synthèse des présentations*

Matthieu DE LINARES, Camille JOURDAIN, Vincent MANO, Patrick SAUVAGET (ARTELIA)

Le colloque SHF- « Transport sédimentaire en rivière et morphologie fluviale » du 31 Mai a été organisé à l'occasion de la publication de l'ouvrage de Philippe Lefort « Morphodynamique fluviale – approche théorique et expérimentale ». Cet événement a rassemblé dans les locaux d'ARTELIA à Echirolles un auditoire représentatif de l'ensemble la communauté hydrosédimentaire francophone. La centaine de personnes présentes provenait en effet aussi bien d'organismes institutionnels et de la recherche, que de bureaux d'études, de gestionnaires de sites et d'exploitants d'aménagements. Cette diversité des origines et des approches se manifestait aussi au niveau des conférenciers. Ce colloque, par les liens tissés entre scientifiques, ingénieurs et gestionnaires, faisait donc écho à la carrière de Philippe Lefort qui a su établir des passerelles entre ces différentes communautés. Cette dimension transversale est aussi bien sûr en cohérence avec les objectifs de la Société Hydrotechnique de France. La synthèse de ce colloque, proposée ci-dessous, permet donc de donner un aperçu des travaux et débats en cours dans notre communauté. Les lecteurs souhaitant plus de détails peuvent se référer aux supports des présentations, disponibles sur le site de la SHF.

Après l'accueil des participants par Patrick Sauvaget, c'est tout naturellement Philippe Lefort qui a été invité en premier par le président de session Gérard Degoutte. Son exposé s'est basé sur l'analyse comparative des évolutions des lits de l'Isère et du Rhin en réponse aux aménagements anthropiques historiques. Cette présentation a permis d'éclairer sa démarche professionnelle : une analyse fine des processus du transport sédimentaire permet de comprendre les évolutions morphologiques à grandes échelles spatiales et temporelles, et offre une base solide pour la gestion des rivières en portant un regard intégrateur sur les problèmes étudiés. Cela a donné la tonalité pour l'après-midi puisque le déroulement des présentations a suivi une progression toute naturelle de la métrologie vers la gestion d'un site complet, tout en s'intéressant à de nombreux types de processus, et en s'appuyant sur des exemples de rivières variés.

La présentation suivante s'est ainsi intéressée à la métrologie du transport solide. Christophe Peteuil (CNR) était le porte-parole d'un groupe de travail informel (composé de membres de CNR, EDF, et IRSTEA) sur cette question. Après avoir explicité les enjeux associés à la métrologie, et listé les champs couverts, la présentation a ensuite détaillé plus particulièrement la question de la mesure des flux solides (charriage et suspension). Les approches traditionnelles ont été rappelées. L'expérience de Monsieur Peteuil et d'autres coauteurs au sein de structures gestionnaires leur a permis de pointer les contraintes de ces approches traditionnelles d'un point de vue opérationnel (sécurité, coût...). Ces contraintes ont conduit les auteurs à étudier des approches hybrides combinant une approche traditionnelle avec une technique moderne permettant une mesure continue en temps (hydrophone, géophone, turbidimètre, ADCP ...). Ces nouvelles approches permettent d'obtenir des gains importants en terme de coût mais aussi en terme de qualité de mesure. Les auteurs ont en conclusion appelé à un effort collectif sur cette thématique, tant au niveau des moyens de mesures que de la mutualisation des données. Notons que cet appel rejoint l'éditorial de Philippe Lefort dans ce numéro.

Après cet aperçu de l'état de l'art sur la mesure des flux sédimentaires en général, la présentation suivante, effectuée par Benoit Camenen de l'IRSTEA, portait sur le cas plus spécifique du transport des sables. Le thème de la mesure des flux a donc été repris et détaillé pour ce cas. Les sables sont présents à la fois en suspension dans la colonne d'eau, et transportés par charriage. Or, les techniques de mesure actuelles ne sont pas très performantes pour mesurer ces flux, en particulier dans les rivières à graviers. Plusieurs approches de modélisation des flux de sables ont été présentées, mais elles soulèvent de nombreuses difficultés. Une nouvelle approche de mesure couplant une mesure acoustique (Bascatter de l'ADCP) et des mesures de flux semble prometteuse pour mieux quantifier les flux de sables. Le cas du sable transitant dans les rivières de gravier a été traité plus en détail, avec notamment l'exemple de la Basse-Isère lors des crues associées à des chasses des retenues. Dans ce type de rivières, la mesure en continu des dépôts de sables est proposée comme alternative à la mesure, plus complexe, des flux transitant dans la colonne d'eau.

L'intervenant suivant, Alain Recking (IRSTEA), a débuté par l'anecdote classique selon laquelle Albert Einstein aurait, à cause de la difficulté du sujet, tenté (sans succès) de détourner son fils Hans Albert d'une carrière de sédimentologue. Ce thème (la difficulté de notre sujet d'étude) a été prolongé par une diapositive qui juxtaposait, sur le ton de la plaisanterie mais de manière particulièrement frappante, la précision avec laquelle l'industrie spatiale parvient à envoyer des sondes dans le système solaire (et même se poser sur une comète) et l'incapacité que nous avons de prévoir la trajectoire d'un caillou dans un cours d'eau en crue (qu'on pourrait généraliser à l'imprécision notoire des prévisions en morphologie fluviale). Bref, l'hydrosédimentaire, *it's not rocket science*, comme diraient les anglo-saxons, mais c'est en fait bien plus complexe ! La suite de l'intervention s'est concentrée sur une des raisons principales de l'imprécision des calculs sédimentaires, qui est la faible représentativité des formules de transport solide dans des cas réels (hors laboratoire). Alain Recking nous a exposé deux éléments d'explication de cette difficulté, à savoir le choix de la granulométrie à prendre en compte (surface ou bien substrat), ainsi que la non-linéarité qu'il faudrait prendre en compte

lors de l'extrapolation de mesures en canal (problème unidimensionnel) au cas d'une rivière (problème bidimensionnel). Les conséquences de ces biais entre laboratoire et mesure sont les suivantes :

- Les formules de transport appliquées sur toute la section d'un cours d'eau doivent s'appuyer sur des jeux de données « incorporant des grandeurs moyennées du terrain ». C'est ainsi le travail qui a été fait par Philippe Lefort pour l'établissement de sa formule de transport solide.
- Les formules de transport calées sur des mesures de laboratoire sont, elles, bien adaptées pour être appliquées dans des modèles numériques détaillées (prenant en compte la géométrie tridimensionnelle).

La présentation suivante, de Vincent Mano (ARTELIA), est venue illustrer la première des deux conclusions d'Alain Recking, puisqu'elle a présenté les premières utilisations en ingénierie de la dernière version de la formule de transport solide de Philippe Lefort. En effet, malgré toutes les incertitudes et difficultés rencontrées dans l'étude du transport solide et de la morphologie des cours d'eau, les ingénieurs doivent analyser et comprendre ces phénomènes afin d'anticiper les réactions de cours d'eau à des aménagements et proposer des aménagements pertinents. L'utilisation des formules de transport solide constitue un outil de compréhension et d'analyse fondamentale pour ce type d'étude. Les principes de la formule de Philippe Lefort ont d'abord été rappelés. Des utilisations de cette formule dans un code de calcul 1D à fond mobile ont ensuite été présentées, avec à chaque fois calage et validation sur l'évolution mesurée du profil en long : sur le Var dans la basse vallée, puis sur des tronçons de l'Arve et du Tarn. Les résultats très satisfaisants ont mis en évidence la pertinence du travail de Philippe Lefort. La démarche de calage avec un regard critique et une bonne expertise de l'ingénieur reste néanmoins nécessaire afin d'utiliser ces outils dans une démarche prospective!

La présentation suivante est venue illustrer la deuxième approche possible (cf. deuxième conclusion d'Alain Recking), basée sur le calcul local du transport solide à partir des paramètres locaux de l'écoulement. Pablo Tassi (EDF) a en effet présenté les résultats d'expériences de modélisation numérique à une échelle fine s'intéressant à la simulation du processus de formation et d'évolution des barres sédimentaires. Les résultats présentés ont permis de montrer que les connaissances actuelles du transport sédimentaire à l'échelle locale permettent de représenter des évolutions morphologiques complexes dans le cadre d'un modèle bidimensionnel. Les processus morpho-dynamiques ainsi modélisés de façon robuste, au moins qualitativement, incluent les barres sédimentaires dites « libres » (migrantes) ou « hybrides » (stationnaires), y compris les processus de tri granulométrique associés, ainsi que le méandrement, jusqu'à la coupure de méandre. L'incorporation de l'influence de la végétation sur ces processus morphodynamiques montre aussi des résultats prometteurs. La capacité de l'outil à reproduire de manière au moins qualitative les principaux phénomènes associés aux barres et au méandrement a ainsi été mise en évidence.

Après les présentations basées sur les mesures, les processus, puis les outils, les deux dernières interventions de la journée ont concerné la gestion sédimentaire.

Dans un premier temps, Magali Jodeau (EDF) nous a présenté les enjeux et les principes de la gestion sédimentaire dans les retenues, qui constituent en général des zones privilégiées de dépôts sédimentaires. Cette sédimentation s'avère problématique dans la retenue (perte de capacité de la retenue), mais également en aval, sous l'effet d'une rupture totale ou partielle de la continuité sédimentaire. La présentation s'est appuyée sur deux exemples. La retenue du Chambon sur la Romanche a permis d'illustrer les connaissances sur la dynamique sédimentaire dans un grand réservoir, et de présenter les principes de gestion pour ce type de retenues. La retenue de Saint Lazare sur la Durance a fourni un exemple de retenue de petite taille (qui peut être rendue transparente en crue), mettant en jeu d'autres processus sédimentaires et d'autres principes de gestion. Signalons que dans tous les cas des mesures détaillées (en continu ou par campagnes ponctuelles) sont un prérequis pour la compréhension du fonctionnement sédimentaire de la retenue, et donc pour le choix et la mise en place de modes de gestion adaptées.

Dans un deuxième temps, Fanny Arnaud (Université de Lyon) nous a exposé les enjeux liés aux déficits sédimentaires présents sur de nombreux cours d'eau, et pouvant justifier la mise en place de programmes de recharge sédimentaire. Les retours d'expérience de recharges sédimentaire effectuées sur le Rhin ont été présentés. Une recharge par injection de sédiments (23 000 m<sup>3</sup>) a été effectuée en 2010. Un suivi topographique couplé à un suivi de particules marquées (suivi RFID) a permis de suivre son évolution sur 7 ans. La forme, la localisation, et la quantité des dépôts injectés ont été jugées pertinentes a posteriori. Le passage de la vague sédimentaire liée à la recharge a toutefois été suivi par une réapparition du pavage et une ré-homogénéisation de la bathymétrie du chenal. Une recharge différente, par érosion contrôlée de la berge, a été mise en place sur le terrain en 2013 après avoir été testée sur modèle physique. Le volume sédimentaire réinjecté par ce biais est beaucoup plus faible en terme de volume (1000 m<sup>3</sup>), mais l'aménagement a permis des gains locaux sur les habitats et les peuplements biologiques. Ainsi, la méthode utilisée pour réaliser des recharges sédimentaires doit être réfléchi par rapport à des objectifs de restauration précis. Ces retours d'expériences ont ainsi permis de dégager des recommandations concernant les méthodes de conception et de suivi des opérations de recharge sédimentaire.

A noter que Vincent Koulinski n'a malheureusement pas pu venir présenter son exposé prévu sur la dynamique torrentielle.

SHF- « Transport sédimentaire en rivière et morphologie fluviale », Artelia Echirrolles Mai 2018

Olivier Métais, président de la SHF, a conclu les débats, en remerciant Philippe Lefort, au nom de la communauté, pour ses contributions à l'étude et à la gestion du transport sédimentaire tout au long de sa carrière, et pour l'écriture de l'ouvrage « Morphodynamique fluviale – approche théorique et expérimentale » qui permettra de faciliter le partage de son expérience. L'assemblée a fait remarquer que Philippe Lefort est intervenu dans la formation de très nombreux participants présents, par ses enseignements à l'Ecole Nationale Supérieure Energie, Eau Environnement (Ense3) où son polycopié fait toujours référence et par son implication dans la formation de jeunes ingénieurs, notamment à SOGREAH /ARTELIA. Son approche, qui intègre la compréhension physique, la mesure, et la gestion globale des cours d'eau, est largement développée par la « relève », comme ont témoigné les présentations de ce colloque.

