



TSMR 2017

Transport Solide et Morphodynamique des Rivières

8-9 novembre 2017, Villeurbanne

Livre des résumés

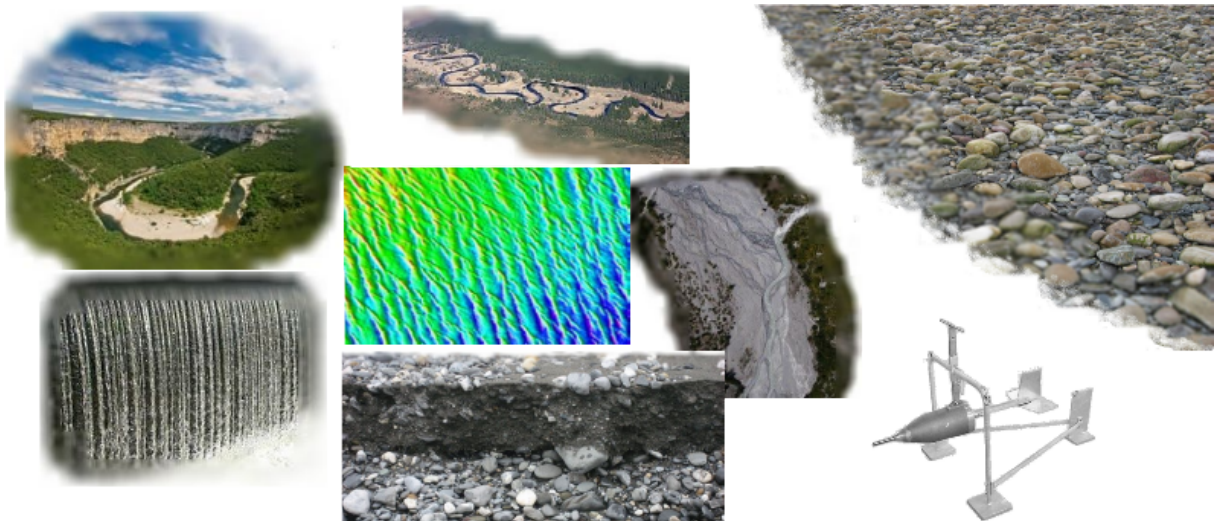


Table des matières

Introduction	5
Informations pratiques	6
Programme du colloque	7
Conférences invités	13
Bars in alluvial rivers: their origin and how we can manage them, Alessandra Crosato	14
Enregistrements des flux sédimentaires dans les lacs, et reconstitutions des débits et des crues extrêmes dans les sédiments annuellement laminés, Pierre Francus . .	15
A1: Transport solide en rivière; Processus, modélisation	16
Modélisation de la granulométrie de la charge en suspension des cours d'eau pour l'évaluation des flux de radionucléides, Thomas Ferracci [et al.]	17
Present-day and past bedload transport conditions along the Rhône River, France, Daniel Vázquez Tarrío [et al.]	18
Controles geomorphologiques sur la dispersion de sédiment en chenaux de montagne, Daniel Vázquez Tarrío [et al.]	19
Modélisation physique et numérique du développement du futur delta du Rhône à l'embouchure dans le lac Léman (Suisse), Vincent Mano [et al.]	20
Dynamique sédimentaire multi-classe : représentation des sédiments fins dans les modèles physiques réduits à fond mobile, Kamal El Kadi Abderrezzak	21
Etude expérimentale du transport de sédiments grossiers à faibles contraintes en présence de sédiments fins et de divers arrangements de surface du lit, Emeline Perret [et al.]	22
Apports et limites de la modélisation numérique pour la compréhension du fonctionnement morpho-sédimentaire de la Loire entre Oudon et Anetz, Matthieu De Linares [et al.]	23
Incertitudes et métrologie en modélisation du transport solide : cas appliqués, Alexandre Alliès [et al.]	24
Estimation du charriage par acoustique passive., Ghislain Gassier [et al.]	25
La basse vallée du Var : un laboratoire grandeur nature des effets des aménagements sur la morphodynamique fluviale et du retour à un fonctionnement plus naturel, Céline Thomas [et al.]	26

Transport de la charge sableuse dans les rivières caillouteuses de Belgique et du nord de la France grâce aux scories de la sidérurgie ancienne, Geoffrey Houbrechts [et al.]	27
Modélisation morpho-sédimentaire d'un hydrosystème fluvial restauré (Rhin supérieur, l'île du Rohrschollen), Guillaume Piasny [et al.]	28
A2: Transport solide en rivière; Mesures in situ de la charge grossière (charriage et suspension)	29
Hydrodynamique de l'Orne dans la zone de remous amont du barrage de Beth; implication sur la remise en suspension des sédiments et de leurs contaminants, Benoît Losson [et al.]	30
Premiers retours d'expérience sur l'utilisation des transpondeurs actifs Ultra Hautes Fréquences pour le suivi de la mobilité des galets en rivières, Mathieu Cassel [et al.]	31
Connectivité latérale et continuité longitudinale du transport sédimentaire de deux vallées des Pyrénées centrales : les vallées du Lys et du Bastan., Johann Blanpied [et al.]	32
Mesure des matières en suspension en rivière, en présence de sable, Guillaume Dramais [et al.]	33
Contrôle morphologique du site de mesure sur les taux de transport par charriage en Loire moyenne., Jules Le Guern [et al.]	34
Rééquilibrage du lit de la Loire entre le pont de Cé et Nantes : apport des mesures in-situ pour le calage des modèles hydrosédimentaires numériques et physiques, Damien Alliau	35
Suivi de la dynamique d'un mélange de sables et graviers avec un scan densitométrique, Benoît Camenen [et al.]	36
Mesure acoustique des sédiments en suspension dans les rivières : difficultés théoriques et pratiques à surmonter, Adrien Vergne [et al.]	37
Campagnes multi-mesure du charriage : application sur 5 rivières alpines en 2017, Sébastien Zanker [et al.]	38
Charriage caillouteux sous influence de grands barrages (Yonne et Cure en Morvan), Louis Gilet [et al.]	39
Gestions spécifiques pour les concessionnaires fluviaux: cas de l'Isère, Gilles Pierrefeu [et al.]	40
A3: Transport solide en rivière; Mesures des flux en MES et polluants associés	41
Etude du fonctionnement de pièges à particules en conditions contrôlées, Céline Berni [et al.]	42
10 ans de mesures hautes fréquences des MES par turbidité sur le site Arc-Isère, Benoît Camenen [et al.]	43
Analyse événementielle quantitative des hystérésis entre débits et matières en suspension sur 15 bassins versants alpins., Clément Missot [et al.]	44
Effet de l'arasement d'un barrage sur la qualité et quantité des transferts sédimentaires: Projet OSS 276 (Observatoire des Sédiments de la Seine), Maxime Debret [et al.]	45
Quantification des flux sédimentaires en estuaire de la Seine basé sur le réseau de mesure de turbidité, Julien Deloffre [et al.]	46

B1: Morphodynamique des lits; évolution récente et passée des lits fluviaux, continuité sédimentaire	47
La bande active est-elle un bon proxy des apports sédimentaires depuis les sites miniers de Nouvelle-Calédonie ?, Mélanie Bertrand [et al.]	48
Estimation de l'évolution long-terme du fond des cours d'eau à partir des données hydrométriques, Jérôme Le Coz [et al.]	49
Fonctionnements morpho-sédimentaire actuel et passé des cours d'eau de faible énergie : enjeux scientifiques et perspectives de gestion en Basse Normandie., Anne-Julia Rollet [et al.]	50
Déficit sédimentaire et ajustements morphologiques de la moyenne Garonne durant les 50 dernières années et facteurs de contrôle : exemple du seuil de Beauzelle à l'aval de Toulouse, Hugo Jantzi [et al.]	51
Forçages climatiques et anthropiques sur l'évolution morpho-sédimentaire holocène du Cosson (Loir-et-Cher)., Aurélien Lacoste [et al.]	52
Etude de la morphodynamique du lit du fleuve Var dans sa partie aval à partir de levés LiDAR, Margot Chapuis [et al.]	53
Importance des dépendances amont-aval et de la connaissance de l'héritage historique pour gérer la trajectoire morphologique des systèmes torrentiels : cas de la Rivière des Galets, Christophe Peteuil [et al.]	54
Signatures hydrologiques du barrage-seuil de Mobaye sur la continuité hydrosédimentaire de l'Oubangui (Bassin du Congo), Chanel Nzango [et al.]	55
Evolution temporelle des rapports de débit et moment cinétique au niveau des confluences : cas du bassin du Haut-Rhône (CH), Romain Cardot	56
Diagnostic hydromorphologique de la Dordogne dans sa moyenne vallée à partir de données historiques et de mesures in situ : évaluation des contrôles et de la sensibilité de la rivière au changement, Fabien Boutault [et al.]	57
B2: Morphodynamique des lits; Dynamique des formes de fond (bancs, dunes etc.)	58
Système stéréo de caméras pour l'estimation de la dynamique des sédiments fins sur un banc de galets, Lionel Penard [et al.]	59
Action de différents débits de crue sur la dynamique des formes fluviales végétalisées dans un lit de rivière à galet, Camille Jourdain [et al.]	60
Rôle des bancs alternés dans le transfert de sédiment par charriage, Blaise Dhont [et al.]	61
Téledétection par satellite et morphodynamique des rivières à l'échelle du bassin versant, Barbara Belletti [et al.]	62
Obtention de modèles numérique de surfaces complets d'une rivière en tresse à partir des données photogrammétrie haute résolution en zone immergées et émergées, Jonathan Coutaz [et al.]	63
Influence de la dynamique d'une barre forcée en crue sur la survie des ligneux pionniers, Coraline Wintenberger [et al.]	64
Influence de l'étendue granulométrique sur la morphodynamique de barres alternées libres et hybrides, Florian Cordier [et al.]	65
C1: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau; Altération de la continuité sédimentaire	66

Nouveau mode de gestion sédimentaire du Haut-Rhône: bilan de l'abaissement partiel de Verbois 2016, Thomas Pollin [et al.]	67
Evaluation de l'influence des seuils sur la dynamique sédimentaire grossière de cours d'eau de faible énergie. Méthodologie d'approche appliquée à deux cours d'eau normands, l'Orne et la Vire., Romain Reulier [et al.]	68
Approche expérimentale pour le suivi de la remobilisation de sédiments déversés à l'aval d'un barrage de haute-chute : le cas de l'ouvrage de Pont de Verrière sur la Fontaulière, Norbert Landon [et al.]	69
Impact des opérations de remodelage des épis sur la dynamique sédimentaire en Loire, Timothée Handfus [et al.]	70
Le transit des sédiments grossiers du Rhône: Cas de l'entretien de la Drôme, Sylvain Reynaud [et al.]	71
C2: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau; Dépôts sédimentaires potentiellement contaminés	72
Suivi à large échelle spatiale et temporelle du transit des éléments granulométriques fins dans la Garonne amont, Nicolas Mengin [et al.]	73
Reconstruction des contaminations historiques métalliques et organiques (HAPs, PCBs, Pesticides Organochlorés) dans les sédiments d'une annexe hydraulique du bassin versant de l'Eure, Thomas Gardes [et al.]	74
Simulation des dépôts dans un garage à bateaux : influence des paramètres de la recirculation, André Paquier [et al.]	75
C3: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau; Restauration physique des rivières	76
Evolution morphologique d'une zone de frayère artificielle : Suivi in situ et modélisation hydrosédimentaire, Magali Jodeau [et al.]	77
Dimensionnement expérimental de lâchers de dessablage à l'aval de la retenue de Maury sur la Selves, Rémi Loire [et al.]	78
Evaluation de l'efficacité probable d'un projet de restauration fonctionnelle et durable du tronçon du Lac des Gaves en aval du bassin versant du Gave de Pau amont - Hautes-Pyrénées, Rabab Yassine [et al.]	79
Restauration d'une rivière en tresses, le Drac dans le Champsaur. Retour d'expérience 3 ans après travaux grâce à l'exploitation de données LIDAR, Frédéric Laval [et al.]	80
Gestion du transit des sédiments et restauration de carrières alluviales dans un environnement contraint par des barrages de haute-chute : le cas des gravières de Jeurre et Lavancia-Epercy dans le PNR du Haut Jura, Norbert Landon	81
Impacts d'actions de restauration géomorphologique du Vieux Rhin à l'aval de Bâle (France, Allemagne), Valentin Chardon [et al.]	82
Maintenir l'équilibre du budget sédimentaire des fleuves: premiers retours d'une expérimentation en cours sur le Vieux Rhône de Chautagne, Thierry Fretaud [et al.]	83
Convergence gestionnaires – chercheurs pour la gestion des grands lits fluviaux : Restauration du lit et trajectoires écologiques, morphologiques et d'usages en Basse Loire, Stéphane Rodrigues [et al.]	84
Evolution morpho-sédimentaire du lit de la rivière Ehen à la reconnexion d'un affluent éphémère, Baptiste Marteau [et al.]	85

Liste des auteurs	85
Liste des participants	89
Liste des sponsors	91

Introduction

Le transport solide et l'évolution morphologique constituent des thématiques centrales du fonctionnement des systèmes fluviaux autant du point de vue fondamental qu'appliqué. La recherche fondamentale s'intéresse principalement aux processus hydro-sédimentaires, à leur conceptualisation, à la quantification des flux, à l'archivage des sédiments et à l'évolution morphologique des rivières. Le domaine appliqué montre parallèlement un besoin croissant de connaissances au sujet de l'impact des ouvrages sur les flux solides, de l'incision des lits, de la gestion des sédiments, etc. Ces questionnements ont amené des communautés variées à s'intéresser au fonctionnement physique des cours d'eau. Les méthodes employées sont très différentes et s'avèrent riches d'enseignements lorsqu'elles sont croisées :

- observations et mesures in situ ;
- recherche et modélisation en laboratoire ;
- modélisation numérique et analytique.

L'objectif du colloque est, dans la continuité du colloque organisé en 2012 à l'université de Tours (<http://transport-solide-univtours.plan-loire.fr>), de favoriser les échanges entre les différentes communautés francophones travaillant sur le transport solide, l'évolution morphologique et la dynamique physique des cours d'eau sur l'ensemble du continuum sédimentaire.

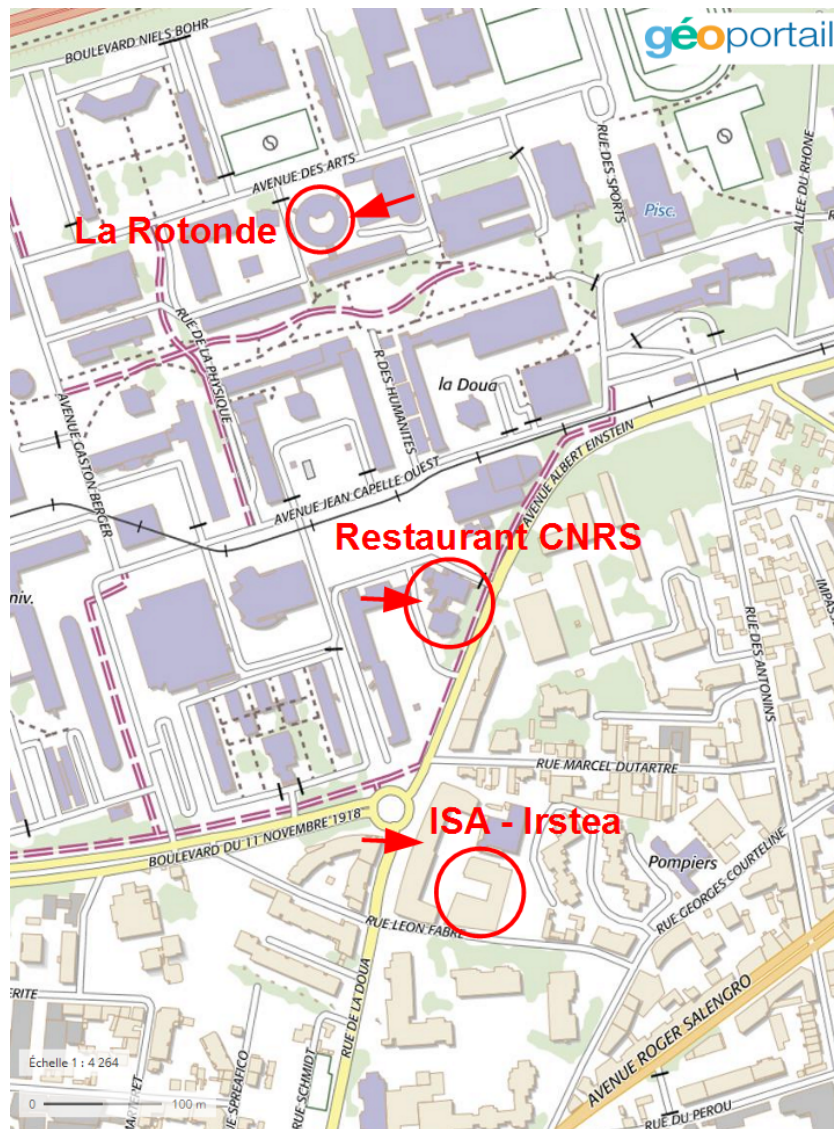
Les thèmes abordés lors de ce colloque sont les suivants:

- Transport solide en rivière
 - Processus, modélisation
 - Mesures in situ de la charge grossière (charriage et suspension)
 - Mesures des flux en MES et polluants associés
- Morphodynamique des lits
 - Évolution récente et passée des lits fluviaux, continuité sédimentaire
 - Dynamique des formes de fond (bancs, dunes etc.)
 - Marges fluviales
- Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau
 - Altération de la continuité sédimentaire
 - Dépôts sédimentaires potentiellement contaminés
 - Restauration physique des rivières

Informations pratiques

Le colloque se déroule à l'amphithéâtre La Rotonde situé au sein du campus de la Doua (20 avenue des Arts - 69100 Villeurbanne, voir carte ci-dessous). L'entrée de l'amphithéâtre se fera par l'espace Agora où auront lieu l'accueil, les pauses café et la session poster.

La restauration du midi se déroule à la cantine CNRS, au 2 avenue A. Einstein. Pour accéder au centre d'Irstea Lyon (visite HHLab), il faut se diriger vers le 5 rue de la Doua (entrée du Bâtiment ISA).



Programme du colloque

Le programme du colloque suivra la description générale présentée ci dessous:

	<u>Mer. 08</u>	<u>Jeu. 09</u>
08:00	Accueil	
	Introduction	B: Morphodynamique des lits
09:00	A: Transport solide en rivière	
10:00		
	Pause café	Pause café
11:00	A: Transport solide en rivière	C: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau
12:00		
	Déjeuner (cantine CNRS, 2 rue Albert Einstein - Villeurbanne)	Déjeuner (cantine CNRS, 2 rue Albert Einstein - Villeurbanne)
13:00		
14:00	Session poster	Visite laboratoire HHLab
15:00		C: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau
	Pause café	Pause café
16:00	B: Morphodynamique des lits	C: Gestion des sédiments et aménagement des cours d'eau
17:00		Cloture colloque
18:00		
19:00		
	Diner	
20:00		
21:00		

Ce programme est détaillé concernant les présentations orales dans le tableau suivant avec les liens vers les résumés correspondants. Dans la version pdf du fichier, il existe un lien vers la page du résumé.

Mercredi 8 novembre 2017			
Heure	Nom	Titre présentation	Lien
08:45	Crosato	Bars in alluvial rivers: their origin and how we can manage them	p. 14
09:25	Perret et al.	Etude expérimentale du transport de sédiments grossiers à faibles contraintes en présence de sédiments fins et de divers arrangements de surface du lit	A1, p. 22
09:40	Zanker et al.	Campagnes multi-mesure du charriage : application sur 5 rivières alpines en 2017	A2, p. 38
09:55	Cassel et al.	Premiers retours d'expérience sur l'utilisation des transpondeurs actifs Ultra Hautes Fréquences pour le suivi de la mobilité des galets en rivières	A2, p. 31
10:10	Gassier et al.	Estimation du charriage par acoustique passive	A1, p. 31
10:45	El kadi A.	Dynamique sédimentaire multi-classe : représentation des sédiments fins dans les modèles physiques réduits à fond mobile	A1, p. 21
11:00	Alliau	Rééquilibrage du lit de la Loire entre le pont de Cé et Nantes : apport des mesures in-situ pour le calage des modèles hydrosédimentaires numériques et physiques	A2, p. 35
11:15	Gilet et al.	Charriage caillouteux sous influence de grands barrages (Yonne et Cure en Morvan)	A2, p. 39
11:30	Vazquez et al.	Present-day and past bedload transport conditions along the Rhône River, France	A1, p. 18
11:45	Dhont & Ancey	Rôle des bancs alternés dans le transfert de sédiment par charriage	B2, p. 61
12:00	Piasny et al.	Modélisation morpho-sédimentaire d'un hydrosystème fluvial restauré (Rhin supérieur, l'île du Rohrschollen)	A1, p. 28
12:15	Mano et al.	Modélisation physique et numérique du développement du futur delta du Rhône à l'embouchure dans le lac Léman (Suisse)	A1, p. 20
16:00	Houbrechts et al.	Transport de la charge sableuse dans les rivières caillouteuses de Belgique et du nord de la France grâce aux scories de la sidérurgie ancienne	A1, p. 27
16:15	Dramais et al.	Mesure des matières en suspension en rivière, en présence de sable	A2, p. 33
16:30	Vergne et al.	Mesure acoustique des sédiments en suspension dans les rivières : difficultés théoriques et pratiques à surmonter	A2, p. 37
16:45	Ferracci et al.	Modélisation de la granulométrie de la charge en suspension des cours d'eau pour l'évaluation des flux de radionucléides	A1, p. 17
17:00	Berni et al.	Étude du fonctionnement de pièges à particules en conditions contrôlées	A3, p. 42
17:15	Misset et al.	Analyse événementielle quantitative des hystérésis entre débits et matières en suspension sur 15 bassins versants alpins	A3, p. 44
17:30	Le Coz et al.	Estimation de l'évolution long-terme du fond des cours d'eau à partir des données hydrométriques	B1, p. 49

Jeudi 9 novembre 2017			
Heure	Nom	Titre présentation	Lien
08:30	Francus	Enregistrements des flux sédimentaires dans les lacs, et reconstitutions des débits et des crues extrêmes dans les sédiments annuellement laminés	p. 15
09:10	Gardes et al.	Reconstruction des contaminations historiques métalliques et organiques (HAPs, PCBs, Pesticides Organochlorés) dans les sédiments d'une annexe hydraulique du bassin versant de l'Eure	C2, p. 74
09:25	Paquier et al.	Simulation des dépôts dans un garage à bateaux : influence des paramètres de la recirculation	C2, p. 75
09:40	Jantzi et al.	Déficit sédimentaire et ajustements morphologiques de la moyenne Garonne durant les 50 dernières années et facteurs de contrôle : exemple du seuil de Beauzelle à l'aval de Toulouse	B1, p. 51
09:55	Boutault et al.	Diagnostic hydromorphologique de la Dordogne dans sa moyenne vallée à partir de données historiques et de mesures in situ : Evaluation des contrôles et de la sensibilité de la rivière au changement	B1, p. 57
10:10	Peteuil & Nassor	Importance des dépendances amont-aval et de la connaissance de l'héritage historique pour gérer la trajectoire morphologique des systèmes torrentiels : cas de la Rivière des Galets	B1, p. 54
10:45	Rollet et al.	Fonctionnements morpho-sédimentaire actuel et passé des cours d'eau de faible énergie : enjeux scientifiques et perspectives de gestion en Basse Normandie	B1, p. 50
11:15	Chapuis & Ait Elabas	Etude de la morphodynamique du lit du fleuve Var dans sa partie aval à partir de levés LiDAR	B1, p. 53
11:30	Bertrand & Liébault	La bande active est-elle un bon proxy des apports sédimentaires depuis les sites miniers de Nouvelle-Calédonie ?	B1, p. 48
11:45	Belletti et al.	Téledétection par satellite et morphodynamique des rivières à l'échelle du bassin versant	B2, p. 62
12:00	Wintenberger et al.	Influence de la dynamique d'une barre forcée en crue sur la survie des ligneux pionniers	B2, p. 64
12:15	Jourdain et al.	Action de différents débits de crue sur la dynamique des formes fluviales végétalisées dans un lit de rivière à galet	B2, p. 60
15:00	Pollin et al.	Nouveau mode de gestion sédimentaire du Haut-Rhône: bilan de l'abaissement partiel de Verbois 2016	C1, p. 67
15:15	Loire et al.	Dimensionnement expérimental de lâchers de dessablage à l'aval de la retenue de Maury sur la Selves	C3, p. 78
15:30	Landon et al.	Approche expérimentale pour le suivi de la remobilisation de sédiments déversés à l'aval d'un barrage de haute-chute : le cas de l'ouvrage de Pont de Verrière sur la Fontaulière	C1, p. 69
16:00	Fretaud et al.	Maintenir l'équilibre du budget sédimentaire des fleuves: premiers retours d'une expérimentation en cours sur le Vieux Rhône de Chautagne	C3, p. 83
16:15	Jodeau et al.	Évolution morphologique d'une zone de frayère artificielle : Suivi in situ et modélisation hydrosédimentaire	C3, p. 77
16:30	Chardon et al.	Impacts d'actions de restauration géomorphologique du Vieux Rhin à l'aval de Bâle (France, Allemagne)	C3, p. 82
16:45	Laval et al.	Restauration d'une rivière en tresses, le Drac dans le Champsaur. Retour d'expérience 3 ans après travaux grâce à l'exploitation de données LIDAR	C3, p. 80

De la même manière, voici un tableau listant les posters présentés au cours de ce colloque avec les liens aux résumés correspondants.

Nom	Titre présentation	Lien
Vázquez et al.	Contrôles géomorphologiques sur la dispersion de sédiment en chenaux de montagne	A1, p. 19
de Linares et al.	Apports et limites de la modélisation numérique pour la compréhension du fonctionnement morpho-sédimentaire de la Loire entre Oudon et Anetz	A1, p. 23
Alliès & Peret	Incertitudes et métrologie en modélisation du transport solide : cas appliqués	A1, p. 24
Thomas & Tiriau	La basse vallée du Var : un laboratoire grandeur nature des effets des aménagements sur la morphodynamique fluviale et du retour à un fonctionnement plus naturel	A1, p. 26
Blanpied et al.	Connectivité latérale et continuité longitudinale du transport sédimentaire de deux vallées des Pyrénées centrales : les vallées du Lys et du Bastan	A2, p. 32
Le Guern et al.	Contrôle morphologique du site de mesure sur les taux de transport par charriage en Loire moyenne	A2, p. 34
Camenen et al.	Suivi de la dynamique d'un mélange de sables et graviers avec un scan densitométrique	A2, p. 36
Losson et al.	Hydrodynamique de l'Orne dans la zone de remous amont du barrage de Beth; implication sur la remise en suspension des sédiments et de leurs contaminants	A3, p. 30
Pierrefeu et al.	Gestions spécifiques pour les concessionnaires fluviaux: cas de l'Isère	A2, p. 40
Camenen et al.	10 ans de mesures hautes fréquences des MES par turbidité sur le site Arc-Isère	A3, p. 43
Debret et al.	Effet de l'arasement d'un barrage sur la qualité et quantité des transferts sédimentaires: Projet OSS 276 (Observatoire des Sédiments de la Seine)	A3, p. 45
Deloffre et al.	Quantification des flux sédimentaires en estuaire de la Seine basé sur le réseau de mesure de turbidité	A3, p. 46
Lacoste et al.	Forçages climatiques et anthropiques sur l'évolution morpho-sédimentaire holocène du Cosson (Loir-et-Cher)	B1, p. 52
Nzango et al.	Signatures hydrologiques du barrage-seuil de Mobaye sur la continuité hydrosédimentaire de l'Oubangui (Bassin du Congo)	B1, p. 55
Cardot	Evolution temporelle des rapports de débit et moment cinétique au niveau des confluences : cas du bassin du Haut-Rhône (CH)	B1, p. 56
Pénard et al.	Système stéréo de caméras pour l'estimation de la dynamique des sédiments fins sur un banc de galets	B2, p. 59
Coutaz et al.	Obtention de modèles numériques de surfaces complets d'une rivière en tresse à partir des données photogrammétrie haute résolution en zone immergées et émergées	B2, p. 63
Reulier et al.	Evaluation de l'influence des seuils sur la dynamique sédimentaire grossière de cours d'eau de faible énergie. Méthodologie d'approche appliquée à deux normands, l'Orne et la Vire. cours d'eau	C1, p. 68

Nom	Titre présentation	Lien
Handfus et al.	Impact des opérations de remodelage des épis sur la dynamique sédimentaire en Loire	C1, p. 70
Reynaud & Taisant	Le transit des sédiments grossiers du Rhône: Cas de l'entretien de la Drôme	C1, p. 71
Mengin et al.	Suivi à large échelle spatiale et temporelle du transit des éléments granulométriques fins dans la Garonne amont	C2, p. 73
Yassine et al.	Evaluation de l'efficacité probable d'un projet de restauration fonctionnelle et durable du tronçon du Lac des Gaves en aval du bassin versant du Gave de Pau amont – Hautes-Pyrénées	C3, p. 79
Landon	Gestion du transit des sédiments et restauration de carrières alluviales dans un environnement contraint par des barrages de haute-chute : le cas des dans le PNR du Haut Jura gravières de Jeurre et Lavancia-Epercy	C3, p. 81
Rodrigues et al.	Convergence Gestionnaires – Chercheurs pour la gestion des grands lits fluviaux : Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'USages en Basse Loire	C3, p. 84

Conférences invités

Bars in alluvial rivers: their origin and how we can manage them

Alessandro Crosato ¹,

¹ IHE Delft and TU Delft – Pays-Bas (a.crosato@un-ihe.org)

Bars appear during low flows as islands and beaches inside river channels. They are large sediment deposits flanked by deeper areas and appear as isolated forms or in a series. It is common to distinguish three types of bars: forced, free and hybrid. Forced bars are a result of flow curvature (forcing) and are local, as point bars inside river bends. Free and hybrid bars have a periodic character and appear in a series. They develop due to morphodynamic instability producing large undulations of the river bed. Free bars are typically migrating whereas hybrid bars are steady, fixed by a geometrical discontinuity of the river channel producing a permanent flow curvature. Hybrid bars are thus caused by both morphodynamic instability and forcing.

The formation of bars is often undesirable to river managers, since these large sediment deposits obstruct water intakes, hinder navigation and affect hydraulic structures. Bar management is therefore a “hot” issue in river engineering. On the contrary, bars are often welcome by ecologists, because they result in water depth and velocity gradients which create multiple habitats in rivers. Bars are therefore a “hot” issue also in river restoration projects.

The need to understand bar formation and find ways to suppress, enhance bars or fix them at certain locations has resulted in numerous research studies. Past work mainly focused on morphodynamic instability analyses, establishing the conditions for bar formation, predicting type (alternate, multiple), wavelength, celerity, growth rate and amplitude of bars. Linear analyses focused on bar formation, non-linear works on bar geometry. An important outcome of these studies is the identification of the bar governing factor: the flow width-to-depth ratio. No bars form below a certain value of this parameter, but above this, rising the width-to-depth ratio results in an increasing number of bars in the river cross-section. Also other factors influence bar formation, as for instance sediment mobility, represented by the Shields parameter. Another important outcome of stability analyses lies in the possibility of predicting the river pattern if the channel width is known. Meandering can be related to steady or slowly-migrating alternate bar formation, whereas braiding to the presence of multiple bars.

The identification of the role of forcing in transforming free bars in more manageable hybrid bars has resulted in problem-solving research projects aiming at bar management. Recent work has analysed the possibility of suppressing or reducing bars by channel narrowing or alternatively by subdividing the river in two parallel channels with a longitudinal wall. Other work has studied how to promote bar formation by channel widening. Well-designed groyne placing has been shown to be able to transform a series of free migrating bars in steady hybrid bars and to permanently liberate an intake. Imposing a certain sinuosity to the river channel has been found to suppress free bar migration.

Remaining challenges regard the role of plant colonization during low-flow stages, cohesive sediment deposition and bed armouring on bar characteristics and river pattern formation. Future work should also investigate the bar response to propagating sedimentation fronts and erosion.

Mots-Clés: bar, alluvial river, morphodynamic instability

Enregistrements des flux sédimentaires dans les lacs, et reconstitutions des débits et des crues extrêmes dans les sédiments annuellement laminés

Pierre Francus ¹,

¹ Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), Centre Eau Terre Environnement, Québec Chaire de Recherche du Canada en Sédimentologie environnementale (Pierre.Francus@ete.inrs.ca)

Les lacs agissent comme des pièges à sédiments qui peuvent opérer sur plusieurs centaines voire milliers d'années. Ils constituent une source inestimable d'information sur le climat et les environnements du passé lointain et proche, grâce à l'analyse d'indicateurs climatiques tels que, par exemple, les assemblages de pollen, de diatomées, ou du contenu en matière organique. Dans certaines conditions favorables, les sédiments sont annuellement laminés, ou « varvés ». Ces varves présentent l'avantage de contenir leur propre chronologie interne qui permet l'estimation de flux sédimentaires annuels relativement précis. Dans des situations très favorables, il est même possible d'identifier les dépôts de crue, de caractériser leurs propriétés physiques (densité, granulométrie, épaisseur) et chimiques (composition élémentaire ou minéralogique), et de lier ces propriétés avec les débits des rivières qui se jettent dans ces lacs.

Les différentes techniques mises en œuvre pour l'analyse des sédiments varvés sont : l'analyse d'image pour la granulométrie et l'épaisseur des varves, la microfluorescence-X pour la composition chimique élémentaire, et la tomodesitométrie pour la densité. La présentation donnera des exemples de reconstitutions des débits, de flux sédimentaires, et de fréquences de retour de crues pour diverses échelles spatiales et de temps, de l'Holocène (ou les dernières 10000 années) au dernier siècle. Malgré certaines limitations, ces reconstitutions ont l'avantage de remettre les mesures instrumentales dans un cadre temporel plus large, de mieux comprendre les variations hydrologiques naturelles dans un contexte avec une influence anthropique moins prévalente, et ainsi de servir de référence pour des modèles statistiques de prédiction.

Mots-Clés: sédimentologie, dépôts laminés, flux sédimentaires annuels, dynamique fluv

**A1: Transport solide en rivière;
Processus, modélisation**

Modélisation de la granulométrie de la charge en suspension des cours d'eau pour l'évaluation des flux de radionucléides

Thomas Ferracci ¹, Patrick Boyer ¹, Muriel Amielh ², Fabien Anselmet ²

¹ Laboratoire de Recherche sur les Transferts de radionucléides dans l'Environnement (LRTE) – Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) – Bât 159 14A, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance, France
(patrick.boyer@irsn.fr)

² Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibres (IRPHE), UMR7342 – 49 rue Frédéric Joliot-Curie, Technopole de Château Gombert, 13013 Marseille, France

Dans les cours d'eau, la gestion des sédiments implique d'évaluer les flux solides ainsi que les pollutions qui leurs sont associées. Par exemple, les radionucléides émis par l'industrie nucléaire dans les cours d'eau se trouvent sous deux formes principales : une forme dissoute dans laquelle ils sont supposés libres dans la phase liquide de la colonne d'eau ou du sédiment et une forme particulaire dans laquelle ils sont adsorbés à la surface des particules solides. Ainsi, la concentration totale des radionucléides dans un échantillon est la somme de ces deux formes dont le fractionnement conditionne les temps de transferts, les échanges entre le sédiment et la colonne d'eau et la biodisponibilité des radionucléides. Dans la colonne d'eau, la fraction particulaire est le produit de la concentration massique des radionucléides sur les particules et de la charge en suspension. En pratique, l'évaluation de la charge en suspension est confrontée à l'absence de modèles prédictifs opérationnels et s'appuie sur des méthodes empiriques basées sur des lois charge-débit ajustées à des mesures in-situ. De même, l'évaluation de la concentration massique des radionucléides sur les particules peut couvrir une incertitude de plusieurs ordres en raison de la forte variabilité du fractionnement liquide-solide en fonction des couples radionucléides-particules et des conditions physico-chimiques. L'un des principaux facteurs de variabilité de ce fractionnement est la granulométrie des particules du fait de la forte dépendance de leur capacité d'adsorption à leur surface spécifique, celle-ci évoluant rapidement et sur plusieurs ordres de grandeurs en fonction de leur taille : plus les particules sont fines, plus leur surface spécifique est importante et plus elles sont susceptibles d'adsorber les radionucléides. Il est donc important d'évaluer la granulométrie des particules en suspension et, de même que pour la charge en suspension, il n'existe pas de modélisation opérationnelle pour ce type de prédiction.

Dans ce contexte, cette communication présente un modèle de prédiction de la granulométrie des matières en suspension des cours d'eau basé sur l'hypothèse de couche à flux constant et inspiré des modèles dit à résistance appliqués aux aérosols (Slinn *et* Slinn, 1980 ; Calec, *et al.*, 2017). Le modèle intègre les conditions d'érosion et, pour les particules les plus fines, la diffusion moléculaire au sein de la sous-couche visqueuse à l'interface du sédiment et de la colonne d'eau. L'approche est confrontée aux données charge/granulométrie/débit fournies par la Station Observatoire des Sédiments du Rhône (SORA) située à Arles et est comparée aux résultats obtenus grâce au modèle de profil de Rouse qui est uniquement basé sur les transferts à l'équilibre dans la couche turbulente.

Pour finir, la présentation décrit un dispositif expérimental destiné à fournir des données calibrées pour mieux comprendre les relations entre les profils de turbulence, de concentration et de granulométrie. Il s'agit d'une cuve remplie d'eau agitée de façon à produire un gradient vertical de turbulence qui permettra de générer des gradients verticaux de concentrations et de granulométrie des particules.

Mots-Clés: granulométrie, suspension, modélisation, radioécologie

Present-day and past bedload transport conditions along the Rhône River, France

Daniel Vázquez Tarrío ¹, Michal Tal ¹, Benoît Camenen ², Hervé Piégay ³

¹ CEREGE, Université Aix-Marseille – CNRS : UMR7330 – Technopôle de l'Arbois-Méditerranée, BP80, 13545 Aix en Provence, France (vazqueztarrio@cerege.fr)

² Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

³ Université de Lyon, CNRS UMR 5600 EVS – Site ENS, 15 parvis René Descartes, BP 7000, 69342 Lyon, France

The present-day Rhône River owes its geomorphic character to two major waves of regulation works over the past 150 years. The first wave, in the late 1900s, consisted of classic river training (Casiers Girardon) aimed at improving navigation. The second, starting in 1948, involved the construction of hydropower dams. Furthermore, gravel mining along the entire river was widespread from the 1950s until the 1990s. The result is a river that is characterised by almost continuous embankments along its lowermost 300 km, a sequence of 19 hydropower dams to which flow is delivered by canals that bypass the channel, and a bed impacted by an extensive series of quarries. Finally, to ensure navigation year-round, bedload supplied by tributaries is frequently mined at confluences which are typically widened in order to to promote sedimentation. The sum of these modifications has drastically altered bed characteristics and transport capacities along the Rhône and as such the transfer of sediments downstream.

We present results of a study carried out within the framework of the Rhône Sediment Observatory (OSR) aimed at quantifying present-day bedload transport capacities along the channel. Mean annual transport capacities were estimated by coupling a 1D hydraulic model (MAGE) with empirical bedload transport equations using grain size characteristics obtained from measurements carried out along the channel over 512 km. In a first step, transport capacities and flow competence were calculated for a range of discharges and grain sizes under the present-day flow regime. We compared these to transport conditions under an unimpeded flow regime representing the pre-dam hydraulic conditions. In addition, we calculated transport capacities for characteristic grain sizes measured on gravel bars (surface and subsurface) in order to test the sensitivity of transport capacity to grain size and formulate hypotheses on how armouring might have contributed to the low mobilities that characterise the present-day system.

The results of the study are expected to highlight the variables controlling transport capacities and bed evolution through time on a reach-by reach basis and shed light on the relative influences of various periods of human modifications on the Rhône's geomorphic evolution.

Mots-Clés: Rhône River, bedload, sediment transport, hydraulic modelling

Contrôles géomorphologiques sur la dispersion de sédiment en chenaux de montagne

Daniel Vázquez Tarrío ¹, Alain Recking ², Frédéric Liébault ², Michal Tal ³

¹ Aix-Marseille Univ, CNRS, CEREGE UMR 7330 – CNRS : UMR7330 – Technopôle de l'Arbois-Méditerranée, BP80, 13545 Aix en Provence, France (danielvazqueztarrio@gmail.com)

² Irstea, UR ETNA, centre de Grenoble – 2 Rue de la Papeterie, 38402 Saint-Martin-d'Hères, France

³ Aix-Marseille Univ, CNRS, CEREGE UMR 7330 – Aix-Marseille Université - AMU – Technopôle de l'Arbois-Méditerranée, BP80, 13545 Aix en Provence, France

L'utilisation de galets marqués comme traceurs est une technique avec une longue tradition expérimentale en géomorphologie fluviale et l'outil idéal pour étudier la dispersion amont-aval du sédiment. Dans ce travail, nous avons compilé de la bibliographie une collection de données d'expériences avec traceurs en rivières de montagne, et nous avons exploré le rôle des facteurs géomorphologiques, hydrologiques et sédimentologiques sur la dispersion du sédiment.

Nous avons compilé l'information sur 208 événements de transport extraites de 40 papiers scientifiques. Les données ont été groupées suivant un double critère :

- (i) morphologique : nous avons groupés les données selon le style morphologique du chenal (*step-pool*, *riffle and pool* et *plane-bed*);
- (ii) expérimentale : nous avons séparé entre ces expériences où le déplacement des traceurs a été mesuré pour la première fois depuis l'introduction sur le lit (traceurs " non-figés "), de celles où le déplacement des traceurs a été mesuré après, au moins, un premier déplacement depuis cette introduction (traceurs " figés ").

Une fois groupés, nous avons exploré les données et regardé comment le déplacement des traceurs est influencé par le style morphologique du chenal et les conditions de l'expérience. Les résultats montrent que :

- (i) la magnitude de l'écoulement est le contrôle principal sur la dispersion du sédiment et sa mobilité;
- (ii) de même, les distances de voyages des traceurs montrent une dépendance avec les dimensions et la configuration morphologique du chenal, avec des différences entre chenaux *step-pool* et *riffle and pool* sur la façon dont les traceurs sont dispersés ;
- iii) la comparaison entre expériences avec traceurs " figés " et " non-figés " montre à nouveau des différences entre chenaux *step-pool* et *riffle and pool*, et elle indique le rôle que l'état du lit et la structuration de surface joue sur la dispersion du sédiment.

En résumé, ce méta-analyse met en évidence la complexité de la dispersion du sédiment en chenaux de montagne et montre comment les contrôles sédimentologiques, hydrologiques et géomorphologiques se superposent aux processus purement hydrauliques.

Mots-Clés: charge de fond, traceurs, chenaux de montagne, PIT tags

Modélisation physique et numérique du développement du futur delta du Rhône à l’embouchure dans le lac Léman (Suisse)

Vincent Mano ¹, Erik Bollaert ², Rafael Duarte ³, Martin Jaeggi ⁴

¹ Artelia Eau & Environnement – 6 rue de Lorraine 38130 Echirolles, France

² AquaVision Engineering – Lausanne, Suisse

³ rafael.duarte@vd.ch – Lausanne, Suisse

⁴ Jaeggi Rivers – Suisse

Dans le cadre de la 3ème correction du Rhône, il est prévu de restaurer l’embouchure du Rhône dans le lac Léman. Historiquement, le Rhône divaguait en effet largement dans sa plaine alluviale et a été progressivement chenalisé au cours des 1ère et 2ème corrections du Rhône (XIXème et XXème siècles). Les endiguements ont ainsi conduits à un cloisonnement des milieux fluviaux, lacustres et terrestre.

L’objectif est aujourd’hui de redynamiser ces milieux, en recréant un delta lacustre et terrestre à l’embouchure du Rhône dans le lac Léman. Pour cela, il est prévu de dériver une partie du Rhône dans un bras annexe environ 1500 m en amont de l’embouchure. Cette ouverture devra permettre d’acheminer les sédiments en provenance de l’amont vers le lac afin de constituer un dépôt lacustre, tout en redynamisant l’espace terrestre sous l’effet des divagations et débordements de ce bras secondaire.

Afin de définir la faisabilité et les modalités d’exécution de ce projet, une étude sur modèle numérique a été réalisée par Aquavision (Mike-21C, figure 1 et Mike-Marine), afin de définir la meilleure géométrie de la dérivation (positionnement, largeur et profondeur du bras ...) et de vérifier le fonctionnement hydro-sédimentaire de l’aménagement.

Par ailleurs, des simulations de houle ont permis d’apprécier la déformation du delta sous l’effet de la houle, ainsi que les conséquences sur le transit littoral associé, l’engravement sur la commune de Villeneuve en rive droite constituant un enjeu important.

A la suite de ces simulations, un modèle physique à fond mobile à l’échelle du 1/75ème a été construit au sein du laboratoire d’Artelia afin de conforter le choix de la variante d’aménagement à retenir, ainsi que les évolutions hydro-sédimentaire à prévoir dans le cadre de la variante choisi. Le modèle a également été l’occasion de vérifier les effets de la houle sur le développement du delta et de tester la sensibilité des évolutions à différents paramètres (volumes d’apports en provenance de l’amont, comblement de fosses d’extractions historiques dans le lac ...).

L’utilisation conjointe de ces deux outils de modélisation a permis de converger vers la solution la plus appropriée, en utilisant au maximum les interactions et les avantages de ces deux outils de modélisation, appliqué à une problématique complexe où interagissent processus hydro-sédimentaires en milieu fluvial et lacustre.

Mots-Clés: modélisation physique, modélisation numérique, delta, Rhône

Dynamique sédimentaire multi-classe : représentation des sédiments fins dans les modèles physiques réduits à fond mobile

Kamal El Kadi Abderrezzak ¹

¹ Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), EDF R&D – 6 quai Watier 78401, France

La modélisation physique en laboratoire est un outil puissant pour étudier l'hydraulique fluviale et répondre à un éventail de problématiques en lien avec l'impact des aménagements hydrauliques et la restauration écologique des rivières. Pour être transposable à un problème en grandeur réelle, un modèle physique réduit doit obéir à des lois de similitude, permettant d'appliquer la solution obtenue sur modèle réduit au problème en grandeur réelle. Les lois de similitude pour les écoulements à surface libre sont établies et ont fait l'objet de validation. Celles pour le transport solide sont loin de faire l'unanimité. Les mécanismes sédimentaires sont trop complexes et variés pour pouvoir être tous reproduits simultanément en similitude rigoureuse. Bien que la complexité des mécanismes empêche de représenter en similitude complète tous les processus impliqués, la mise à l'échelle modèle du charriage de sédiments grossiers et homogènes est assez bien connue. Ce constat n'est plus vrai dès lors que les sédiments grossiers se trouvent mélangé avec du sable ou colmatés par des sédiments fins (cohésifs ou pas). Que ce soit un colmatage superficiel ou interstitiel, la représentation des sédiments fins en modèle physique est encore du domaine de la recherche. Ici, nous décrivons les principales méthodes existantes (*e.g.* utilisation de matériau artificiel, de plantes alfalfa, ou de matériau naturel cohésif traité, application de produits chimiques) pour représenter en modèle physique l'effet du colmatage des graviers par des sédiments fins. L'exemple des bancs de graviers de l'Isère en Combe de Savoie est considéré.

Mots-Clés: modèle réduit, sédimentaire, multi-classe

Etude expérimentale du transport de sédiments grossiers à faibles contraintes en présence de sédiments fins et de divers arrangements de surface du lit

Emeline Perret ¹, Céline Berni ¹, Benoît Camenen ¹ Kamal El Kadi Abderrezzak ²

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne – 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne cedex, France

² Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), EDF R&D – 6 quai Watier 78401, France

Pour une bonne gestion des rivières de montagne, il est important de comprendre la dynamique des sédiments grossiers se transportant par charriage. Les lits de rivières de montagnes sont souvent composés d'une large gamme de sédiments, allant du galet à l'argile et caractérisées par une dynamique concentrée sur les crues. Cette étendue granulométrique et cette mobilité réduite à quelques événements courts font que le transport solide dans les rivières de montagne est très sensible au seuil de mise en mouvement.

Une étude expérimentale a ainsi été réalisée en laboratoire dans un canal hydraulique de 18 m de long et 1 m de large dans le but d'examiner les processus responsables du transport de graviers dans diverses configurations, c'est-à-dire avec différents arrangements du lit et degrés de colmatage du lit par des sédiments fins (cohésifs ou non). Les expériences ont été conduites dans des conditions d'écoulements instationnaires (hydrogramme montant et descendant). Une importance particulière a été consacrée à la création de lits qui représentent au mieux les lits rencontrés dans les rivières de montagnes. Des lits sans arrangements particuliers (lâches), avec des arrangements de surfaces (arrangés), et infiltrés de sédiments fins (sable, limons cohésifs ou non) ont donc été créés. Selon le type de sédiments fins utilisés, différentes distributions sédimentaires à l'intérieur de la matrice grossières ont été obtenues. Par exemple, les sables se sont infiltrés en surface seulement tandis que les limons se sont infiltrés du bas vers le haut. Nous avons pu montrer que le débit solide était très sensible à ces différentes configurations, en particulier à la présence d'arrangements de surface des graviers, à la présence de sédiments fins dans la couche de charriage et aux changements de propriétés géotechniques du lit due à la présence de sédiments fins. Plus le lit est arrangé, plus le transport de graviers est difficile. La présence de sédiments fins cohésifs dans la matrice grossière réduit fortement le transport des graviers. Les sédiments fins non cohésifs, eux, ont un effet lubrificateur sur les graviers. Plus la concentration en sédiments fins dans la couche de charriage est forte, plus le transport de graviers est augmenté. Cette concentration est directement liée au mode de transport des sédiments fins et à leur distribution dans la matrice grossière.

Basé sur l'ensemble de nos observations expérimentales, un modèle conceptuel a été créé décrivant le comportement d'un lit de graviers arrangé ou non, et colmaté ou non en réponse à un hydrogramme. Ce modèle est un bon outil pour comprendre, estimer et interpréter le transport de graviers sur le terrain. Il peut être également utilisé pour ajuster au mieux la contrainte de mise en mouvement souvent nécessaire dans un modèle numérique.

Grâce à ce modèle, les processus clés régissant la mise en mouvement des graviers ont pu être identifiés. L'étude propose une nouvelle analyse adimensionnelle pour la construction d'un nouveau modèle de transport solide faisant intervenir de nombreux paramètres décrivant l'arrangement du lit, les propriétés du sol et la nature des sédiments fins présents dans le lit.

Mots-Clés: transport sédimentaire, colmatage, arrangement, mise en mouvement, laboratoire

Apports et limites de la modélisation numérique pour la compréhension du fonctionnement morpho-sédimentaire de la Loire entre Oudon et Anetz

Matthieu De Linares ¹, Pierre-Alain Rielland ¹, Claire Pérard ², Nicolas Pichon ², Pierre Peeters ³

¹ Artelia Eau & Environnement – 6, rue de Lorraine, 38130 Echirolles, France
(matthieu.delinares@arteliagroup.com)

² VNF - MEDDE – France

³ Setec Hydratec – France

Dans le cadre du programme de rééquilibrage de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes, VNF a confié à Artelia la maîtrise d'œuvre des opérations situées dans le secteur d'Ancenis : remodelage des épis entre Oudon et Anetz, et réouverture du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière associée au rechargement du bras principal. Afin de définir et optimiser les modalités de ces opérations, un modèle numérique hydrosédimentaire détaillé de la zone (sous Telemac) a été construit, calé et exploité par Artelia Eau & Environnement. L'emprise de ce modèle s'étend du PK100 à l'amont (aval du bras de la Meilleraie) jusqu'au pk82 (Oudon) à l'aval (en zone marnante).

Un calage hydraulique du modèle a d'abord été effectué sur la base des levés de ligne d'eau. Le calage morpho-sédimentaire a ensuite consisté en la reproduction des évolutions observées entre les levés bathymétriques de décembre 2009 et de mars 2013. Une validation du modèle a ensuite été effectuée sur la période 2013-2017, sur la base d'un levé bathymétrique partiel. La simulation d'une évolution morphologique tendancielle (à l'horizon 50 ans) a été effectuée de manière à servir de référence pour l'étude de scénarios d'aménagement. L'analyse des résultats sur ces calculs (calages et tendanciel) permet de mettre en évidence les points d'intérêt ci-dessous. Une forte variation de la rugosité du lit entre faibles débits et crues est constatée. Les coefficients de Strickler nécessaires pour caler le modèle en crue sur les lignes d'eau observées sont ainsi bien plus faibles en crue qu'à l'étiage. Ce point peut être mis en relation avec le développement de dunes. Une forte respiration du lit entre faibles débits et crues est simulée. Ce point est important à prendre en compte dans l'interprétation des évolutions observées entre différents levés bathymétriques, si ceux-ci n'ont pas été levés pour des débits en Loire similaires. Cela a aussi pour conséquence qu'il n'est pas pertinent de calculer des lignes d'eau sur la base de données bathymétriques levées à un débit fortement différent de celui de la ligne d'eau que l'on cherche à calculer. Les évolutions simulées à long terme dépendent fortement des hypothèses retenues pour les apports solides à l'amont du modèle. Le temps au bout duquel cette condition limite amont intervient dépend de la distance à l'amont du modèle. Ainsi, pour le secteur l'île Neuve-Macrière, dont l'amont se situe à environ 12 kilomètres de la frontière amont du modèle, l'effet d'une modification des apports solides se fait sentir de manière significative au bout d'environ 8 années simulées.

Avec une hypothèse de transport solide à l'amont à l'équilibre avec la bathymétrie de 2013, le transport solide moyen annuel calculé à l'entrée du modèle est de l'ordre de 450 000 à 500 000 tonnes. La capacité de transport solide calculée est légèrement décroissante vers l'aval, ce qui a pour conséquence, avec cette hypothèse de transport solide à l'amont à capacité, que le modèle simule une tendance moyenne globale d'augmentation du stock de sédiments dans le bras principal sur le linéaire étudié.

Mots-Clés: sédiment, modélisation, rivière, sable, Loire, calage

Incertitudes et métrologie en modélisation du transport solide : cas appliqués

Alexandre Alliès¹, Sophie Peret¹

¹ Améten : LudovicLe Contellec – 300 Avenue des Papèteries Espace Bergès - Lancey 38190 Villard-Bonnot, France (a.allies@ameten.fr)

Les domaines appliqués de l'environnement (quantification et prise en compte dans la conception de projets de notre impact sur l'environnement) et de l'hydraulique (problématique croisée de gestion du risque et du milieu naturel) sont en constante évolution, portés par :

- une volonté politique en cours de consolidation (à travers les directives européennes sur l'environnement, renforcées par le déploiement en France de la compétence Gestion de l'Eau, des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations, GEMAPI);
- des recherches scientifiques très actives dans ces domaines, pour passer d'une approche expérimentale basée sur l'observation et l'expérimentation, à l'application de savoir-faire dans les territoires (ingénierie dite " finalisée ").

Ainsi, les acteurs du territoire (clients d'Améten), sont confrontés à la prise en compte de directives de plus en plus exigeantes (en termes d'intégration du risque et de l'environnement), dans la mise en œuvre de leurs projets. En tant que bureau d'étude, nous devons répondre à ces sollicitations, avec des outils qui sont souvent en cours d'élaboration et de test. C'est dans ce contexte qu'Améten souhaite développer une approche pluridisciplinaire (suivi expérimental d'opérations de restauration, évolution hydromorphologique, quantification du transport solide, correction torrentielle).

Améten souhaite présenter des exemples d'articulation de suivi métrologique au profit d'un meilleur calage des approches par modélisation, dans des contextes où il faut s'adapter à des conditions expérimentales non contrôlées :

- Proposition de solutions de correction torrentielle par génie écologique, dans un contexte de désordres occasionnés par des travaux d'urbanisation : les conditions initiales hydrosédimentaires et géotechniques étant altérées et méconnues, il faut raisonner sur un état futur stabilisé par soutènement, et prévoir des contingences pour adapter les solutions en fonction de l'évolution du profil en long;
- Utilisation de laisses de crue dans le calage d'un modèle purement hydrodynamique, en présence d'un sur-aléa de charriage important d'éléments grossiers. Réflexions sur un protocole de calage avec une analyse de sensibilité sur plusieurs sources d'incertitude de l'observation : incertitude sur " l'épaisseur " du mélange eau/sédiments, incertitude sur la variation du profil en fond de thalweg au cours de la crue, incertitude sur l'obstruction d'ouvrages de franchissement.

L'ensemble du travail sera mené sur des projets démarrant à l'été 2017 et se prolongeant jusqu'au premier trimestre 2018. La communication envisagée concernera donc l'état d'avancement sur des projets en cours et les orientations choisies, et les premiers résultats, sans nécessairement disposer de retour d'expérience consolidé.

Mots-Clés: modélisation, correction torrentielle, génie écologique, incertitudes

Estimation du charriage par acoustique passive.

Ghislain Gassier ¹, Philippe Dussouillez ¹, Michal Tal ¹, Jonathan Coutaz ¹

¹ Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330 – Europôle Méditerranéen de l'Arbois, avenue Louis Philibert - BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France (dussouillez@cerege.fr)

Le transport solide par charriage dans les rivières contrôle la morphologie du lit. Dans le cas des rivières à lit de galets, le transport de la fraction grossière se produit en majorité lors des crues, ce qui rend les mesures in-situ difficiles. Le développement de méthodes acoustiques, dites "passives", permettant d'obtenir les caractéristiques du transport solide nécessite, d'abord, l'enregistrement du signal produit par le champs de pression acoustique émis par les galets lors de leurs mouvements, et ensuite, son traitement numérique par des méthodes propres au type de signaux mis en jeu.

A ce jour, les traitements de signaux acoustiques ont permis une estimation de l'initiation du mouvement et de la distribution granulométrique du matériel charrié (Geay, 2015). On propose ici une nouvelle méthode validée par des simulations permettant d'obtenir en plus de la distribution granulométrique et de l'initiation du mouvement, une estimation du volume transporté. Etant donnée la pression acoustique "élémentaire", appelée atome, produite par la collision d'un galet avec un autre (Thorne, 1988), il a été possible d'identifier les paramètres d'intérêt de ce choc tels que le diamètre des galets ou encore la distance et la vitesse de l'impact. L'approche théorique qui a été développée consiste à modéliser la pression acoustique générée par le charriage comme la combinaison linéaire d'atomes la plus précise mais également la plus réaliste possible. Des algorithmes itératifs de type descente de gradient projeté (Combettes & Pesquet, 2011) permettant d'imposer des contraintes physiques pertinentes ont été mis en oeuvre et ont permis d'estimer les paramètres entrant en jeu dans le modèle de charriage, tels que la granulométrie ou le débit solide, malgré les dimensions très importantes du problème.

Bien que cette méthode soit prospective et repose sur des simulations, à terme, notre objectif est de rendre fonctionnelle l'utilisation de ces méthodes sur des signaux provenant d'hydrophones immergés dans une rivière. Cependant, ceci ne pourra être rendu possible que par l'enrichissement du modèle d'ondes et par la suppression du bruit généré par la turbulence de surface.

Références :

Geay (2015). Inversion de signaux d'acoustique passive pour estimer la granulométrie des sédiments transportés dans une rivière. Mémoire de thèse

Thorne (1988). Generation of underwater sound by colliding spheres. JASA

Combettes & Pesquet (2011). Proximal splitting methods in signal processing.

Mots-Clés: estimation, transport solide par charriage, acoustique passive, traitement du signal, modélisation

La basse vallée du Var : un laboratoire grandeur nature des effets des aménagements sur la morphodynamique fluviale et du retour à un fonctionnement plus naturel

Céline Thomas ¹, Eric Tiriau ¹

¹ Artelia Eau & Environnement – 6, rue de Lorraine 38130 Echirolles, France (celine.thomas@arteliagroup.com, eric.tiriau@arteliagroup.com)

Dans la basse vallée du Var, l'endiguement du lit dès le XVIII^{ème} siècle et les extractions massives au cours du XX^{ème} ont profondément modifié le fonctionnement hydromorphologique du fleuve et engendré des dysfonctionnements majeurs. Afin de stopper une incision du lit de 2 à 5 m et remonter le niveau de la nappe, 11 seuils ont été réalisés dans les années 1970 et 1980, puis équipés de centrales hydroélectriques. Suite à ces aménagements, la morphologie du lit du Var a été bouleversée. D'une rivière en tresses évoluant dans toute la largeur de sa vallée alluviale, le Var présentait dans les années 1990, sur environ 10 km, un faciès de chenal unique entre chaque seuil, avec des berges limoneuses, identique à une rivière de plaine. Son profil en long était en forme d'escaliers, se caractérisant par une succession de biefs à chenal lentique et de chutes. La crue majeure de 1994 a mis en lumière l'absence de résilience de cette configuration, par la rupture en cascade des deux seuils les plus en aval, et menaçant le troisième.

Une réflexion globale a été engagée après cette crue, à l'échelle de la basse vallée du Var, et s'est concrétisée par une démarche de SAGE. Actant l'arrêt des extractions, le SAGE "Nappe et basse vallée du Var" (approuvé en 2007 puis révisé en 2010 et 2015) favorise ainsi le retour au faciès en tresses du fleuve. Une première étude du fonctionnement physique intégrant un modèle hydrosédimentaire, a mis en évidence la nécessité d'abaisser successivement les seuils en tenant compte de l'avancement des matériaux et des enjeux liés au risque inondation. Une planification prévisionnelle de l'abaissement successif des seuils a ainsi été proposée.

L'arrêt des extractions et la capacité de transport solide du Var permettent aujourd'hui un retour progressif des matériaux. Bien que contenu dans l'espace interdigue, le faciès en tresses du Var revient progressivement. Le lit poursuit cependant son incision à l'extrémité aval de cet "escalier". A ce point, l'incision du lit depuis le début du XX^{ème} siècle est certainement l'une des plus élevée du territoire métropolitain (plus de 12 m). Aujourd'hui, les deux seuils situés à l'amont ont d'ores et déjà fait l'objet d'une opération d'arasement. Les deux seuils suivants devraient être abaissés à court terme.

Ce tronçon de la basse vallée du Var constitue un véritable laboratoire à ciel ouvert des effets des aménagements et des extractions sur un cours d'eau à fort transport sédimentaire, de la dynamique de retour à un fonctionnement morphologique plus conforme aux processus naturels, et des interactions entre fonctionnement morphologique, risque inondation et enjeux socio-économiques. 15 ans après les dernières modélisations sédimentaires, les études actuellement menées par Artelia pour le compte du SMIAGE Maralpin, maître d'ouvrage du DPF et porteur de nombreuses études à ce sujet, sont l'occasion de faire un retour d'expérience important sur ces questions, avec une nouvelle modélisation hydrosédimentaire qui reconstituera la dynamique morphologique sur cette période et proposera une actualisation de la planification de la poursuite de l'abaissement des seuils.

Mots-Clés: Var, endiguement, extraction, incision, restauration, tresses, modélisation

Transport de la charge sableuse dans les rivières caillouteuses de Belgique et du nord de la France grâce aux scories de la sidérurgie ancienne

Geoffrey Houbrechts ¹, Frédéric Gob ², Vincent Tamisier ³, Emmanuèle Gautier ², Yannick Levecq , Alexandre Peeters , François Petit

¹ University of Liège, Dep. of Geography, Laboratory of Hydrography and Fluvial Geomorphology (LHGF - ULg) – Allée du 6 Août 2 (Bât. B11), Belgique (g.houbrechts@ulg.ac.be)

² Université Paris 1 et Laboratoire de Géographie Physique, UMR 8591 – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France

³ Laboratoire de Géographie Physique (LGP), UMR8591 – France

Le transport de la charge sableuse dans les rivières caillouteuse reste à l’heure actuelle relativement mal connu. Avec les techniques habituellement déployées en dynamique fluviale, le principal problème consiste à retrouver après une crue mobilisatrice des éléments sableux marqués et dispersés longitudinalement et verticalement dans le lit des rivières. De plus, les résultats obtenus portent sur des échelles de temps relativement limitées.

Nous proposons une approche nouvelle pour quantifier le transport du sable grâce à l’utilisation d’un traceur anthropique, les scories de la sidérurgie ancienne. De grandes quantités de scories sont en effet présentes dans les alluvions sableuses et caillouteuses de nombreux cours d’eau d’Europe. Ces scories sont des déchets produits dans des usines sidérurgiques installées le long des cours d’eau entre le 14e et le 19e siècle. Ces déchets étaient généralement rejetés sur les plaines alluviales, à proximité des rivières, ou directement dans les cours d’eau. Lors des crues, ces éléments ont été emportés en aval et se sont mélangés avec la charge naturelle des rivières (Houbrechts *et al.*, 2011). Grâce aux sources historiques, il est possible de dater de manière relativement précise les périodes d’activité de ces sites sidérurgiques. En conséquence, sur la base de la distance de dispersion des scories et de l’époque de rejets, nous avons déterminé la vitesse d’avancée de la charge en saltation pour plusieurs rivières du massif ardennais, de Normandie et de Haute Marne. Cette analyse a été plus spécifiquement réalisée sur deux fractions granulométriques : entre 0,5 et 1 mm et entre 1,6 et 2,5 mm.

Ces données permettent ainsi d’étudier le transport de la charge en saltation dans des rivières naturelles en tenant compte des caractéristiques granulométriques des lits (armurage) sur la mise en mouvement des fractions sableuses. Une attention particulière a par ailleurs été portée sur le rôle des obstacles transversaux sur le transit des sables. Enfin, par rapport aux techniques traditionnelles, l’utilisation des scories a permis d’analyser ces questions sur le temps long (plusieurs siècles), ce qui permet d’intégrer l’évolution historique des lits et de pleinement considérer le caractère très discontinu du transport (difficilement appréhendé lorsqu’on travaille avec le marquage de particules individuelles).

Mots-Clés: transport solide, fraction sableuse, saltation, scories

Modélisation morpho-sédimentaire d'un hydrosystème fluvial restauré (Rhin supérieur, l'île du Rohrschollen)

Guillaume Piasny ¹, Pascal Finaud-Guyot ², Pierre-André Garambois ², David Eschbach ¹, Laurent Schmitt ¹

¹ Laboratoire Image, Ville, Environnement (LIVE) – université de Strasbourg, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7362 – 3 Rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France

² Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube) – ENGEES, Université de Strasbourg, INSA – 300 bd Sébastien Brant - BP 10413, 67412 Illkirch Cedex, France

L'île artificielle du Rohrschollen a été créée en 1970 lors de la construction de la centrale hydro-électrique de Strasbourg. Située à 8 km au sud-est de la ville, l'île est parcourue par une ancienne annexe hydraulique rhénane (appelée ancien chenal) déconnectée dans sa partie amont depuis les aménagements. Son fonctionnement hydromorphologique a été fortement altéré : les submersions dynamiques, à l'origine du renouvellement de la mosaïque alluviale, ont été stoppées et les échanges nappe-rivière, au préalable élevés, ont considérablement diminué. Parallèlement, le chenal s'est fortement colmaté et le caractère hygrophile de l'écosystème forestier a progressivement décliné.

Le projet de restauration LIFE+ mené sur l'île du Rohrschollen depuis 2012 vise à réactiver les processus hydromorphologiques (transport sédimentaire, mobilité latérale, échanges nappe-rivière) pour favoriser l'émergence et le maintien des habitats alluviaux typiques du milieu rhénan. à cet effet, un nouveau chenal a été creusé et une prise d'eau a été construite afin de reconnecter l'ancien chenal au Rhin. La dynamique hydrologique, simulée par l'ouvrage hydraulique, permet d'injecter des débits variant entre 2 et 80 m³/s en fonction des débits du Rhin. Cela permet de recréer des submersions dynamiques et de favoriser l'activité morphologique, notamment sur le nouveau chenal de connexion amont.

Un modèle hydro-morphologique 1D (Hec-Ras) et 2D (Telemac2D couplé à Sisyphe) a été adapté au site du Rohrschollen. Une réflexion particulière a été portée au couplage entre l'hydrodynamique et le transport solide. L'objectif est de modéliser, à court et à moyen termes, l'évolution morpho-sédimentaire du chenal nouvellement creusé afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème. De nombreuses mesures de terrains (levés topobathymétriques pré- et post-crue, suivi hydraulique et granulométrique) ont permis de caler et de valider les différentes modélisations. Le choix de différents scénarii a permis de définir (i) les conditions les plus morphogènes sur le site et (ii) le profil de la ligne d'eau en régime permanent. Cette approche comparative s'est basée sur l'évolution du profil en long, l'érosion des berges et le calcul d'un bilan sédimentaire. Des analyses ont mis en évidence certaines limites de l'utilisation d'un modèle 1D dans ce contexte à fort débit. Le recours à un modèle hydraulique 2D a permis d'améliorer les champs de vitesse et les bilans sédimentaires modélisés, en particulier pour les plus fortes crues, mais la présence d'embâcles constitue un biais important. à l'issue de ce travail, des recommandations opérationnelles ont ainsi pu être formulées au gestionnaire de la Réserve.

Mots-Clés: modélisation 1D et 2D, hydromorphologique, Rhin, restauration fonctionnelle, recommandations opérationnelles

**A2: Transport solide en rivière;
Mesures in situ de la charge grossière
(charriage et suspension)**

Hydrodynamique de l'Orne dans la zone de remous amont du barrage de Beth; implication sur la remise en suspension des sédiments et de leurs contaminants

Benoît Losson ¹, Emmanuelle Montargès-Pelletier ², Luc Manceau ¹, Hussein J. Kanbar ², Yves Waldvogel ², Claire Delus ¹, Laurence Mansuy-Huault ²

¹ LOTERR – Ile du Saulcy, BP 60228, 57045 Metz cedex 01, France (Benoit.losson@univ-lorraine.fr)

² LIEC, UMR 7360 – 15 Avenue du Charmois, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

La vallée de l'Orne a connu une intense activité industrielle dès la fin du 19e siècle, associée à l'exploitation du minerai de fer lorrain. L'installation des usines sidérurgiques au bord du cours d'eau s'est accompagnée de multiples modifications hydromorphologiques. Le barrage de Beth, construit en 1959, provoque notamment une zone de remous de 4,5 km de longueur. Bien que curé dans les années 1960 et 1980, ce tronçon de l'Orne recèle encore des dépôts sédimentaires fortement contaminés (métaux, HAP, ...), empreints de l'activité métallurgique, recouverts par quelques centimètres de matériaux plus naturels. L'étude en cours vise à déterminer la remobilisation de ces sédiments pollués dans les conditions hydrologiques actuelles et dans une perspective d'effacement du barrage.

Cette présentation détermine les caractéristiques hydrodynamiques de l'Orne dans la zone de ralentissement amont du courant, provoqué par le barrage de Beth. La crue biennale du 01/06/2016, de débit maximal à 137 m³/s, est considérée ; cette valeur correspond localement au débit à pleins bords. Deux sites avec banc sédimentaire (Haropré et Sainte-Anne), éloignés de 450 m, ont fait l'objet de mesures morphométriques permettant de calculer la puissance spécifique et la contrainte tractrice sur des tronçons de 37 et 59 m de long respectivement. Sur les bancs, des dalles ont été mises en place, pour mesurer les taux de sédimentation, récupérer les sédiments et les analyser (granulométrie, géochimie). Les sites d'étude présentent une puissance spécifique comparable d'environ 30 W/m², ce qui fait de l'Orne un cours d'eau d'assez faible énergie hydrodynamique, difficilement capable de changements morphologiques dans cette zone amont de remous. Mais les vitesses du courant (moyennes à 1,15 et 1,39 m/s) autorisent ablation et transport de sédiments de taille centimétrique lors d'une crue biennale. Les contraintes tractrices moyennes avoisinent les 15 et 22 N/m² à Haropré et Sainte-Anne respectivement. Dans un contexte de rivière à graviers à fond non pavé, de telles valeurs fournissent un paramètre de Shields qui rend compte d'un début de déplacement par charriage pour des particules jusqu'à 2,8 cm de diamètre (à Sainte-Anne). Le transport en suspension de sables de taille inférieure à 540 μm serait également envisageable, d'après la classification de Ramette. Des dépôts superficiels de sable fin ont effectivement été observés sur la ripisylve après la crue. Les dalles de sédimentation ont permis de récolter des particules de diamètre maximum de 1 mm et présentant une taille moyenne de 130 μm.

Les crues de l'Orne sont donc bien en capacité de remobiliser des particules limoneuses à graveleuses dans le secteur d'étude. Les analyses géochimiques des sédiments limono-sableux du banc de Sainte-Anne, ont révélé une contamination faible par rapport à d'autres dépôts situés plus en aval dans la zone de remous. Les caractéristiques granulométriques sont nettement plus faibles à proximité du barrage (taille moyenne autour de 14 μm, contre 37 μm à Sainte-Anne) et avec un caractère cohésif fortement marqué. Les mesures effectuées constituent déjà un point d'appui pour déterminer les processus d'ablation qui pourraient être mis en jeu en aval, en cas d'effacement du barrage.

Mots-Clés: puissance spécifique, contrainte tractrice, barrage, remous, contamination industrielle

Premiers retours d'expérience sur l'utilisation des transpondeurs actifs Ultra Hautes Fréquences pour le suivi de la mobilité des galets en rivières

Mathieu Cassel ¹, Guillaume Fantino ², Thomas Depret ¹ Ludovic Bultingaire ¹ Hervé Piégay ¹ Frédéric Laval Guillaume Gilles

¹ Environnement Ville Société (EVS) – École Normale Supérieure (ENS) - Lyon, CNRS : UMR5600 – 18 Rue Chevreul 69362 Lyon cedex 07, France (mathieu.cassel@ens-lyon.fr)

² GEOPEKA – France (guillaume.fantino@geopeka.com)

Au milieu des années 2000, le suivi de la mobilité des galets s'est appuyé sur une technique jusque-là employée dans les études de suivi des populations de poissons : la RFID (Radio Frequency IDentification) et plus exactement des transpondeurs passifs (sans alimentation autonome) basse fréquence ($BF = 134.2$ kHz) appelés PIT-Tags. Les premiers déploiements de PIT tags insérés dans des galets naturels ont permis d'acquérir des résultats intéressants sur les modalités *in situ* du transfert de la charge grossière (distance de transport, débit critique de mise en mouvement, renouvellement des formes). Les limites de cette technique sont en revanche rapidement apparues avec son déploiement sur des systèmes très actifs et/ou de tailles importantes : l'effort de prospection augmentant très significativement avec un taux de retour bien souvent modeste ($\approx 50\%$), en raison notamment des faibles distances de détection (de l'ordre du mètre). C'est pourquoi l'équipe de l'UMR Environnement Ville et Société (UMR 5600) du CNRS et le bureau d'étude GeoPeka ont testé de nouveaux transpondeurs actifs (avec alimentation par batterie) émettant un signal dans le domaine des Ultra Hautes Fréquences et dont les distances de détection atteignent 80 m en champ libre et plus de 2 m en immersion.

Plusieurs années de développement ont permis de rendre opérationnel un protocole de suivi de la mobilité basé sur cette technologie (création de particules artificielles dont la densité et la résistance à l'abrasion correspondent aux particules naturelles, développement d'une méthodologie de prospection basée sur l'intensité du signal). Les premières expérimentations de terrain (en fin d'année 2016) basées sur ces nouveaux traceurs ont été réalisées sur deux hydrosystèmes présentant des conditions limites pour un traçage de la charge grossière basée sur des transpondeurs RFID passifs. Le premier suivi a été réalisé sur le Buëch, une rivière en tresses à large bande active, en conditions émergées principalement (GeoPeka/EDF, amont/aval du barrage de Saint Sauveur). Le second porte sur le Rhône, un chenal en eau (UMR EVS/BURGEAP/Métropole de Lyon, Canal de Miribel: barrage de Jons et Vieux-Rhône de Néron). Les premières opérations de suivi et de recherche de ces traceurs ont eu lieu en hiver/printemps 2017 et offrent des premiers retours d'expérience uniques. Ils ont permis de confronter directement les capacités théoriques de ce système RFID avec les contraintes de terrain.

Ce premier retour d'expérience mettra en valeur des rapports taux de retours/surfaces prospectées/temps de prospection très encourageants. L'objectif de notre intervention sera donc de présenter ces premiers résultats de terrain et la plus-value de cette nouvelle technique de traçage de la charge grossière.

Mots-Clés: traçage, RFID, Buëch, Rhône

Connectivité latérale et continuité longitudinale du transport sédimentaire de deux vallées des Pyrénées centrales : les vallées du Lys et du Bastan.

Johann Blanpied ¹, Jean-Marc Antoine ¹, Jean-Michel Carozza ²

¹ Géographie de l'Environnement (GEODE) – Université Toulouse 2, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5602 – 5 Allée Antonio Machado 31058 Toulouse cedex 1, France

² LIENSS UMR 7266 (LIttoral ENvironnement et Sociétés) – Université de La Rochelle, Université de La Rochelle – 1 Parvis Fernand Braudel, 17042 La Rochelle, France

La crue centennale qui a affecté la partie centrale des Pyrénées le 18 Juin 2013 a donné lieu à un déstockage massif des matériaux de fonds vallée. Des formes sédimentaires héritées (ie. dépôts glaciaires, plaines alluviales, cônes de déjection torrentiels et/ou avalancheux) ont été érodées provoquant un élargissement des bandes actives et un transport sédimentaire conséquent. Les rétro-observations semblent indiquer qu'à l'inverse des grandes crues historiques (1897, 1937), d'emprise spatiale similaire à celle de 2013, les têtes de bassins versants ont été peu productives. L'étude se fonde sur l'acquisition de données terrain issues du suivi depuis Mai 2016 de deux tronçons d'une longueur de 1 km localisées dans la vallée du Lys et du Bastan (deux des vallées les plus impactés lors de la crue de Juin 2013). L'objectif est d'analyser et de quantifier les zones de prise en charge et le transport des matériaux solides.

Sur ces sites, des berges vives et actives, issues de différents types stocks sédimentaires, font l'objet d'un suivi de l'érosion par lasergrammétrie terrestre et par photogrammétrie aéroporté et terrestre. L'objectif est d'une part d'utiliser la photogrammétrie pour quantifier l'érosion par événement et d'autre part d'utiliser la lasergrammétrie terrestre pour effectuer un suivi annuel de l'érosion à résolution spatiale plus fine.

Ce suivi est ensuite mis en relation avec l'étude de la connectivité sédimentaire par type de stocks à travers l'indice de Cavalli (2013). A l'échelle du bassin versant ou des formes sédimentaires concernées par la crue de 2013, cet indice sert de base à notre analyse de la connectivité sédimentaire, qui s'étendra à minima sur les 4 bassins les plus impactés par la crue.

Par ailleurs, un suivi du transport solide par transpondeurs passifs est effectué. 250 puces RFID ont ainsi été disposées dans le chenal de chacun des sites sur différentes gammes granulométriques pour permettre d'estimer les seuils de mise en mouvements de particules et les volumes transportés pour différents débits.

Cette approche permettra de répondre en partie aux lacunes sur les études de torrentialité au sens large dans le massif des Pyrénées et d'aborder la crue de Juin 2013 sous un angle de son fonctionnement géomorphologique.

Mots-Clés: connectivité sédimentaire, transport solide, stocks sédimentaires

Mesure des matières en suspension en rivière, en présence de sable

Guillaume Dramais ¹, Benoît Camenen ¹, Jérôme Le Coz ¹

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

De nombreux efforts sont déployés en France et ailleurs pour améliorer le suivi des flux de matières en suspension (MES) dans les cours d'eau. La caractérisation des concentrations, des tailles, de la nature de particules, des polluants associés et la compréhension des processus du transport solide sont des sujets d'études fédérateurs, notamment pour les partenaires de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR). Ce travail identifie une source d'incertitude parfois sous-estimée, résultant des méthodes d'analyse et de sous-échantillonnage préconisées en Europe au travers de la Norme NF EN 872 (AFNOR, 2005) sur le dosage des MES par filtration. Nous présenterons les limites de cette norme et nous la comparerons au document de référence Américain : la norme D 3977-97 (ASTM, 1997). Nous illustrerons ensuite par des cas de terrain les écarts et lacunes observées en utilisant ces protocoles, en particulier en présence de sable (particules de diamètre supérieur à $63 \mu\text{m}$) dans l'échantillon brut. La présence de particules de sables dans un échantillon est problématique pour le sous-échantillonnage. En effet, les sables, malgré une agitation vigoureuse ne se répartissent pas de manière homogène dans l'échantillon en particulier pendant la phase de transfert vers un nouveau récipient. Leur quantité est souvent biaisée dans les sous-échantillons résultants. La méthode américaine semble plus adaptée aux échantillons chargés, en particules grossières notamment. Plusieurs campagnes de mesure hydro-sédimentaires ont eu lieu en mai 2016 sur le Rhône lors de l'opération d'accompagnement de l'abaissement du barrage Suisse de Verbois, qui a remobilisé de grandes quantités de sédiments sur le Haut-Rhône. Dans ces exemples, la présence de sable en suspension rend l'utilisation des préconisations de la norme NF EN 872 inadéquates. Malgré le soin apporté au mélange de l'échantillon brut, les mesures de concentration en MES et de granulométrie à partir des sous-échantillons sont entachées d'erreurs importantes, tant sur la concentration en MES que sur les distributions granulométriques. Il semble donc préférable de ne plus appliquer la norme NF EN 872 sur ce type d'échantillons chargés mais de prendre comme référence la norme D 3977-97 ou des protocoles équivalents, où l'on sépare les fractions grossières et fines avant analyse par filtration pour déterminer les concentrations en MES ou lors des mesures de la distribution granulométrique de l'échantillon.

Mots-Clés: MES, sable, tamisage, filtration

Contrôle morphologique du site de mesure sur les taux de transport par charriage en Loire moyenne.

Jules Le Guern ^{1,2}, Stéphane Rodrigues ^{1,3}, Philippe Jugé ², Timothée Handfus ²,
Coraline Wintenberger ¹

¹ CITERES (CItés, TERitoires, Environnement et Sociétés), UMR 7324 – 33 allée Ferdinand de Lesseps BP 60449 37204 Tours cedex 3, France

² CETU ELMIS Ingénieries – Université François Rabelais – 11 quai Danton, 37500 Chinon, France

³ Ecole Polytechnique Universitaire de Tours (EPU Tours) – 64 Avenue Jean Portalis, 37200 Tours, France

Le projet de recherche R-TEMUS (Restauration du lit et Trajectoires Ecologiques, Morphologiques et d'USages en basse Loire) vise à analyser le fonctionnement hydro-sédimentaire et écologique de la Loire dans le cadre d'un grand programme de restauration initié sur le tronçon Saumur-Nantes. La dynamique sédimentaire est analysée, d'une part, par la quantification des flux solides *in-situ*, et d'autre part, par l'étude de la migration des formes du lit à différentes échelles. Les macroformes présentes sur le secteur d'étude à Saint-Mathurin-sur-Loire (49) sont des barres sédimentaires alternes dont la configuration morphologique simple (mode = 1) permet leur étude détaillée. La quantification des flux solides a été menée pour différentes conditions de débit depuis des embarcations équipées de préleveurs isocinétiques pour le charriage (BTMA et bouteille de Delft) ainsi qu'une bouteille Niskin pour la suspension. En parallèle, des mesures bathymétriques et courantométriques ont été réalisées afin d'appréhender la migration des formes du lit (*Dune Tracking Method*) ainsi que les contraintes hydrauliques associées (aDcp). La quantification des flux s'est déroulée pendant trois campagnes de terrain d'une semaine chacune (novembre 2016, mars 2017 et mai 2017) pour des débits compris entre 346 à 1460 m³/s. Les débits unitaires de la charge de fond calculés à partir de 80 mesures par jour oscillent entre 0,1 et 100 g/s/m et les taux de transport calculés varient entre 1 et 18,7 kg/s sur la totalité de la section de mesure. Pour ce qui concerne l'étude des dunes, leur longueur d'onde varie entre 2,32 et 6,4 m au cours d'un même épisode de crue et leur hauteur fluctue entre 0,14 et 0,33 m. Leur célérité, déterminée par la méthode de *Dune Tracking*, sont comprises entre 31,2 et 46,5 m/j. La comparaison de ces données avec celles existantes environ 60 km en amont, selon le même protocole (Claude et al., 2012), montre les mêmes ordres de grandeurs avec cependant des taux de transport inférieurs en charge de fond pour le site aval, mais une section plus large (570 contre 300 m) sur ce dernier. L'hypothèse explicative avancée est que : (i) pour les mêmes débits liquides, la configuration morphologique particulière du site de Bréhémont (37), notamment la décroissance du ratio d'aspect vers l'aval et la pente de la ligne d'eau d'étiage plus importante ($0,3 \times 10^{-3}$ m/m contre $0,2 \times 10^{-3}$ m/m à Saint-Mathurin), engendre des contraintes plus fortes et des taux de transports plus importants, et (ii) que l'hydrologie faible de 2016-2017 ne s'est pas soldée par un important transport de sédiments sur le fleuve. Cette configuration morphologique particulière influence la position et la dynamique des barres sédimentaires ainsi que les taux de transport associés mesurés *in-situ*.

Mots-Clés: morphodynamique, charriage, taux de transport

Rééquilibrage du lit de la Loire entre le pont de Cé et Nantes : apport des mesures in-situ pour le calage des modèles hydrosédimentaires numériques et physiques

Damien Alliau ¹

¹ Compagnie Nationale du Rhône (CNR) – 2 rue André Bonin, 69004 Lyon, France (d.alliau@cnr.tm.fr)

Création de 700 épis dans le dernier siècle, extractions massives de sable réalisées pour les besoins de l'industrie ... Ces actions anthropiques ont eu des conséquences graves sur le fonctionnement de la Loire : enfouissement du lit, et mauvaise alimentation des annexes fluviales notamment. Conséquence de ces déséquilibres, le lit continue aujourd'hui de s'inciser. Dans le cadre du plan Loire IV (2014-2020), dont VNF porte la maîtrise d'ouvrage de certaines actions (42 Me) et financé notamment par l'Union Européenne, la réalisation d'un ouvrage de correction sédimentaire a été proposé dans le quartier de Bellevue, en amont immédiat de l'agglomération nantaise, avec l'objectif d'engendrer un remous solide régressif. Pour les études conception morpho-sédimentaires, la Compagnie Nationale du Rhône et Irstea ont proposés différentes approches de modélisation, à la fois numériques (Telemac2D et Sisyphe) et physiques (échelle 1:100 avec distorsion de densité). Afin que ces outils puissent produire des prédictions sédimentaires à long terme (de 15 à 75 ans), des mesures in situ s'avèrent incontournables pour caler les modèles et vérifier que leurs réponses, compte tenu de leurs incertitudes respectives, soient conformes en termes de tendance morphologique.

Bien que le secteur de Bellevue soit identifié depuis plusieurs décennies comme une zone géographique charnière entre le fleuve Loire à courant libre et sa partie estuarienne dominée par les cycles tidaux [1, 2], peu d'actions relatives à l'amélioration de la connaissance du transport solide en Loire influencée par la marée ont été réalisées. CNR et Irstea ont réalisé deux campagnes de mesures de charriage et suspension de sable en 2017 afin d'évaluer une première courbe de tarage sédimentaire locale à imposer aux modèles. Sans prétendre atteindre le niveau d'exigence et de représentativité des mesures faites par le passé sur la Loire amont [3], les mesures réalisées au jusant et au flot sur différents débits support de la Loire semblent attester une distribution longitudinale décroissante depuis l'amont vers l'aval en termes de capacité de transport solide [4].

L'objet de cette communication est de présenter et discuter les mesures réalisées récemment et d'inscrire ces données dans l'accroissement des connaissances des phénomènes de transport à l'amorce de l'estuaire du fleuve Loire.

[1] Ginsburger-Vogel, M. (2004). D'un fleuve à l'autre... le seuil de Bellevue : légendes et réalité, *La Loire et ses terroirs*, 49: 12-18.

[2] Lefort, P (2009). La Loire des Ponts de Cé à Nantes, Expertise hydro-sédimentaire

[3] Claude, N. (2012). Processus et flux hydro-sédimentaires en rivière sablo-graveleuse : influence de la largeur de section et des bifurcations en Loire moyenne, Université de Tours, mémoire de thèse.

[4] Latapie, A. (2011). Modélisation de l'évolution morphologique d'un lit alluvial : application à la Loire moyenne, Université de Tours, mémoire de thèse

Mots-Clés: charriage, sable, Loire, courbe de tarage sédimentaire, distribution longitudinale du transport efficace

Suivi de la dynamique d'un mélange de sables et graviers avec un scan densitométrie

Benoît Camenen ¹, Emeline Perret ¹, Corinne Brunelle ², Mathieu Des Roches ²,
Louis-Frédéric Daigle ², Pierre Francus ²

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

² INRS – 490 rue de la Couronne, Québec, G1K 9A9, QC, Canada

La dynamique d'un mélange de sédiments est une problématique très importante pour les rivières alpines qui sont souvent caractérisées par une granulométrie très étendue. S'il existe des études sur l'interaction entre classes de sédiments, elles sont généralement basées sur un mélange initial homogène. Nous proposons ici d'étudier les interactions entre des sédiments sableux se propageant sur une matrice grossière. L'étude a été réalisée dans un canal horizontal ($0.305 \times 0.30 \times 7$ m) avec des sables ($D_{f50}=0.2$ mm) se propageant sur un lit de graviers ($D_{c50}=1.5$ mm). L'originalité de ce travail tient aussi à l'utilisation de techniques d'images à haute résolution pour mieux décrire les mécanismes à l'interface disponibles au laboratoire multidisciplinaire de tomodesitométrie pour les ressources naturelles et le génie civil (INRS, Québec, Canada). L'écoulement a été caractérisé par un système PIV ainsi qu'un profileur Vectrino. Le scan densitométrie permet une vision 3D de la densité ; il a été utilisé pour caractériser précisément la surface du fond ainsi que l'infiltration du sable dans la matrice grossière. Le transport solide par charriage a ainsi été évalué par un suivi de rides observées à partir des données du scan et par une trappe positionnée à l'aval du canal. Il est à noter que le sable fin se propage dans tous les cas étudiés en formant des rides sur le fond. Une comparaison des différentes méthodes de mesure du charriage et de leur incertitude est présentée, en particulier en relation avec le transport solide des sables en suspension. Du fait du ratio D_{c50}/D_{f50} peu élevé, l'infiltration de sable ne se fait par contre que superficiellement (sur quelques mm) et les échanges sur cette couche superficielle sont très importants. Deux séries d'expériences avec deux différentes hauteurs d'eau indiquent que cette dernière n'influe que très peu sur la dynamique sédimentaire. Les premiers résultats montrent par contre une interaction très forte entre les deux classes de sédiments. Les sédiments de la matrice grossière sont plus mobiles avec la présence de sables en surface indiquant un effet de lubrification par les sables élevé. Les sédiments fins (sables) sont par contre moins mobiles que lorsqu'ils sont transportés seul sans doute du fait des échanges avec la couche grossière, une partie des sables étant piégée dans cette couche.

Mots-Clés: charriage, sable, gravier, laboratoire, tomodesitométrie

Mesure acoustique des sédiments en suspension dans les rivières : difficultés théoriques et pratiques à surmonter

Adrien Vergne ¹ Céline Berni ¹ Jérôme Le Coz ¹

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

Depuis une dizaine d'années, on assiste à un intérêt grandissant pour l'utilisation des technologies hydroacoustiques dans la mesure des flux sédimentaires en suspension dans les cours d'eau. Basées sur le principe du sonar – c'est-à-dire sur la rétrodiffusion acoustique par des particules en suspension – ces méthodes présentent l'avantage d'une très bonne résolution spatiale et temporelle, tout en restant non-intrusives. Les jaugeages par ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) fournissent déjà des données de rétrodiffusion acoustique en quantité. En extraire des informations sur les flux sédimentaires en suspension constituerait une avancée scientifique notable.

Ces techniques ont d'abord été développées pour étudier la mise en suspension du sable par la houle au fond de l'océan, et sont aujourd'hui relativement opérationnelles dans ce domaine. En milieu fluvial, les efforts déployés pour tenter de relier la rétrodiffusion acoustique à la concentration de matière en suspension (MES) n'ont pour l'instant pas permis d'aboutir à une méthode générale fiable et opérationnelle. La relation entre le signal acoustique et la concentration en MES n'étant pas linéaire, une simple calibration n'est bien souvent pas envisageable, ou pas transposable à d'autres conditions de mesure. L'utilisation d'algorithmes d'inversion acoustique est alors nécessaire, ce qui impose de connaître précisément les mécanismes de rétrodiffusion à l'œuvre dans le milieu étudié. Les recherches effectuées à Irstea (thèse de S. Moore, 2011, thèse de A. Vergne en cours) semblent montrer que le phénomène de rétrodiffusion est plus complexe en milieu fluvial qu'en milieu marin. Le modèle acoustique développé en océanographie nécessite donc d'être adapté, tout comme les algorithmes pour l'inverser.

De nombreuses questions scientifiques restent encore à traiter pour développer et valider un modèle acoustique adapté aux rivières. Trois points nous semblent présenter une importance particulière :

- (i) caractériser la réponse acoustique des sédiments typiquement rencontrés en suspension dans les rivières, notamment pour des distributions multimodales;
- (ii) évaluer l'impact potentiel de la floculation;
- (iii) vérifier que le signal acoustique ne provienne pas d'autres corps diffusants (bulles d'air, micro-organismes).

Des expériences en laboratoire sont nécessaires pour faire avancer ces questions.

Mots-Clés: acoustique, suspension, ADCP, rétrodiffusion, sédiments en suspension, mesure

Campagnes multi-mesure du charriage : application sur 5 rivières alpines en 2017

Sébastien Zanker ¹, Alain Recking ², Thomas Geay ³

¹ EDF - Division Technique Générale (DTG) – 21 rue de l'Europe, 38040 Grenoble cedex, France

² Irstea, UR ETGR, centre de Grenoble – 2 rue de la Papeterie - BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères, France

³ GIPSA-Lab – 38000 Grenoble, France

EDF-DTG a engagé fin 2014 un partenariat de recherche avec le LTHE et le GIPSALAB, 2 laboratoires de l'INP-Grenoble, pour le développement de la mesure du charriage par hydrophone. Cet outil doit apporter un moyen peu onéreux et facile à déployer sur le terrain pour accéder aux principales caractéristiques du transport solide par charriage : granulométrie en mouvement, périodes de charriage, fréquence et durée des événements, flux charrié. Les développements menés ont rapidement imposé de pouvoir croiser les mesures de l'hydrophone avec d'autres mesures caractéristiques du charriage ou de la morphologie de la rivière. Il s'agissait alors de disposer de données de calibration, mais également de rechercher un " faisceau de preuves " toujours utile lorsqu'il s'agit d'évaluer le charriage. En mai et juin 2017, 6 campagnes multi-mesure de 1 à 2 journées ont été réalisées sur un panel de rivières alpines, représentant des morphologies et des signatures acoustiques différentes : Isère à Grenoble, Romanche au Bourg d'Oisans, Séveraisse à Villar-Loubière, Grand Büech à La Faurie, Arve à Chamonix. Les mesures réalisées ont été les suivantes :

- Prélèvement des matériaux charriés : ils ont été réalisés soit par gros préleveur *Toutle River 2*, manipulé à partir d'une potence, soit par petit préleveur Elwha manipulé à la main;
- Mesures acoustiques : elles ont consisté en (i) des écoutes passives continues sur 1 point en berge, (ii) des écoutes passives spatiales sur un tronçon de rivière, réalisées à l'aide d'un radeau dérivant, et (iii) des écoutes actives pour caractériser la propagation du son dans la section;
- Mesures hydrométriques : la plupart des sites disposaient d'une station de mesure du débit en continu; sur d'autres sites des mesures au radar SVR ou à l'ADCP ont été réalisées;
- Mesures de fond mobile à l'ADCP : elles ont été réalisées sur l'Isère et sur la Romanche;
- Mesures des sédiments en suspension : des mesures en continu de MES (via une sonde de turbidité calibrée) sont disponibles sur l'Isère et la Romanche ; sur les autres rivières, des mesures de turbidité ponctuelles ou continues, selon les sites, ont été réalisées pendant les campagnes;
- Mesures morphologiques : des relevés (pente, profils en travers, granulométrie, ...) ont été réalisés préalablement aux campagnes multi-mesure; ils doivent permettre d'expliquer les différences de comportement du signal acoustique et du charriage entre les différentes rivières;
- Mesures sismiques terrestres : des capteurs sismiques de type "géophones" et "sismomètres" ont été déployés pendant ces campagnes, dans le cadre d'un travail prospectif mené avec l'IGE.

Nous disposons désormais de jeux de données riches pour les développements sur la mesure du charriage par hydrophone. Ils seront exploités à partir de juillet 2017. Ils pourront également être utilisés pour la compréhension des processus du charriage ou la comparaison avec des modèles semi-empiriques. Ces campagnes multi-mesures seront vraisemblablement reconduites dans les prochaines années, avec des adaptations en fonction des résultats obtenus et des objectifs poursuivis dans la suite.

Mots-Clés: charriage, mesure, prélèvement, hydrophone, acoustique, sismique, ADCP

Charriage caillouteux sous influence de grands barrages (Yonne et Cure en Morvan)

Louis Gilet ¹, Frédéric Gob ¹, Emmanuèle Gautier ¹, Clément Virmoux ¹, Geoffrey Houbrechts ², Jonathan Touche ¹, Clément Neves ¹

¹ Université Paris 1 et Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR 8591 – Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – France (frederic.gob@univ-paris1.fr)

² University of Liège, Dep. of Geography, Laboratory of Hydrography and Fluvial Geomorphology (LHGF - ULg) – Allée du 6 Août 2 (Bât. B11), Belgique

Cette étude vise à caractériser le fonctionnement du charriage sur deux hydrosystèmes anthropisés du Morvan : l'Yonne et la Cure. Dans ce massif de moyenne montagne, plusieurs grands barrages ont été construits dans les années 1920-1930. Le transport solide autour de ce type d'ouvrages a le plus souvent été étudié de façon indirecte, en privilégiant une approche morphologique des conséquences géomorphologiques de l'interruption de la continuité sédimentaire et des perturbations hydrologiques (exhaussement/incision ; rétrécissement/élargissement ; mise en place d'un pavage, etc.). Nos travaux reposent à l'inverse sur une étude directe du charriage et de ses modalités (vitesse, conditions critiques...), en lien avec les ajustements morphologiques hérités de 80 années d'altérations des débits solides et liquides.

Notre étude du charriage sur l'Yonne et la Cure a été réalisée à travers un suivi des déplacements de la charge grossière (cailloux et galets) en utilisant la technologie RFID (PIT tag) sur 9 sites sur l'Yonne et la Cure. Les sites ont été sélectionnés de façon à pouvoir comparer le charriage dans la diversité des situations identifiées, en termes de morphologie (forme de la vallée, du lit, granulométrie, etc.), d'hydrologie (régime naturel / influencé) et de gestion des barrages (écluesées, tronçon court-circuité, effacement). Sur chaque site de suivi du transport grossier, au moins 75 particules ont été équipées de PIT tags et deux sondes de pression de l'eau (Diver) ont été installées pour suivre en continu les variations de hauteur d'eau et du débit. La granulométrie et la topographie en travers et en long du chenal ont été mesurées afin de pouvoir calculer les divers indicateurs intervenant dans les mécanismes de transport (force tractrice, rugosité, etc.). Nos résultats soulignent que les différents modes de fonctionnement des barrages étudiés présentent une perturbation spécifique du régime hydrologique, qui se répercute sur le transport grossier observé. Les paramètres morphologiques (pente, largeur, taille du substrat, etc.) semblent également jouer un rôle majeur en limitant ou accentuant l'effet actuel des barrages. La comparaison multi-sites montre que les aspects ayant trait aux caractéristiques du substrat (pavage, imbrication des particules, etc.) sont particulièrement structurants sur le charriage. La relation entre la morphologie actuelle et le transport observé, ainsi que la comparaison entre des profils en long de différentes époques, suggèrent que ces caractéristiques morphologiques sont en grande partie héritées de la mise en place et du fonctionnement des barrages. Un fonctionnement par cycle d'interactions est mis en évidence : les perturbations du transport entraînées par les barrages participent aux changements de la morphologie et du substrat en particulier; la configuration héritée impacte le charriage actuel, qui demeure toujours sous l'influence " directe " des barrages. La compréhension de ces interactions entre influences directes (court-terme) et héritées (moyen-terme) est aussi complexe qu'essentielle pour connaître le fonctionnement du charriage en aval des ouvrages morvandiaux. Une meilleure connaissance des mécanismes du transport actuel sur l'Yonne et la Cure peut ainsi contribuer à mieux cibler les actions à entreprendre pour optimiser la gestion des ouvrages d'un point de vue hydromorphologique et écologique.

Mots-Clés: charriage, barrage, morphologie fluviale, substrat, PIT-tag

Gestions spécifiques pour les concessionnaires fluviaux: cas de l'Isère

Gilles Pierrefeu ¹, François Lauters ², Benoît Camenen ³

¹ Compagnie National du Rhône (CNR) France (g.pierrefeu@cnr.tm.fr)

² EDF - Division Technique Générale (DTG) – 21 rue de l'Europe, 38040 Grenoble cedex, France

³ Irstea, UR HHLy, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

CNR, EDF et Irstea travaillent à une meilleure gestion des flux sédimentaire de l'Isère et à sa continuité au Rhône. L'Isère est une rivière transportant une grande quantité de sédiments, principalement des limons et sables, dans sa partie aval. La Basse-Isère est constituée d'une succession de barrages gérés par EDF. Des opérations de chasses sont réalisées lors de crues, en décrue. Lors de ces opérations, une grande quantité de sédiments sableux peut se déposer au niveau de la confluence et dans la retenue de Bourg-Lès-Valence exploitée par CNR. Ces dépôts ont pour conséquences : (i) un engravement de la retenue et donc une diminution de la section d'écoulement, (ii) une réduction du flux vers les groupes hydro-électriques et donc des pertes de production, (iii) l'apparition de haut fond et le blocage du système d'alimentation de l'écluse, engendrant des dragages et la suspension de la navigation.

Lors des dernières grandes chasses de l'Isère (2008 et 2015), la CNR s'est retrouvée confrontée à des arrivées massives et soudaines de grandes quantités de sédiments. Les moyens hydrographiques (navire Frédéric-Mistral, vedettes hydrographiques) CNR ont été mobilisés afin de s'assurer que les différents ouvrages pouvaient fonctionner en sécurité. D'autres mesures ont été réalisées pour suivre l'évolution des dépôts au cours du temps, toutefois mesures effectuées post chasses. Ces levés hydrographiques ont permis de mieux cerner les zones de dépôts et leur évolution. Ils ont également servi à caler un modèle numérique hydro-sédimentaire 2D. Le retour d'expérience des événements 2008/2015 ainsi que l'exploitation du modèle 2D permettent d'entrevoir un début d'explication de la genèse de ces dépôts. Cependant ces mesures sont réalisées a posteriori des événements et ne permettent pas une gestion en temps réel de ces opérations de chasses. Forts de ces expériences, CNR et EDF travaillent actuellement sur la mise en œuvre de chaînes de mesures in-situ afin de mieux appréhender et de mieux anticiper les évolutions dans la retenue et au droit de l'usine et de l'écluse de Bourg-lès-Valence. CNR et EDF s'appuient sur Irstea, un acteur de la recherche incontournable dans le domaine du transport sédimentaire. Un projet de couplage de mesures de flux sédimentaires et de mesures dynamique de sections de Rhône ou d'Isère est en cours. L'objectif est ici de connaître en temps réel la quantité de sédiment transitant sur l'aménagement et se déposant sur certains secteurs critiques pour finalement mieux appréhender et réguler les opérations de chasses tant pour le concessionnaire amont que aval. La présentation détaillera :

- les mesures mises en œuvre actuellement pour le suivi de l'impact de ces sédiments et la prise de décision quant à la gestion opérationnelle de l'Isère, avant et après opérations de chasses Isère;
- d'autre part, la réflexion commune en cours de déploiement par les deux concessionnaires en vue d'instrumenter la confluence pour une gestion des opérations de chasses Isère guidée par le suivi du transport et des dépôts sédimentaires temps réel, en différenciant les processus opérationnels de ceux encore en phase exploratoires.

Mots-Clés: Isère, chasses, aménagement hydroélectrique, charriage, MES

**A3: Transport solide en rivière;
Mesures des flux en MES et polluants
associés**

Etude du fonctionnement de pièges à particules en conditions contrôlées

Céline Berni ¹, Matthieu Masson ², Chloé Le Bescond ^{1,2}, Fabien Thollet ¹, Alexis Buffet ¹, Jérôme Le Coz ¹

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

² Irstea, UR MALY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

Les pièges à particules représentent un moyen efficace et peu coûteux pour le prélèvement de matières en suspension en rivière (MES) et la quantification des flux de contaminants associés. Le prélèvement est de plus intégratif dans le temps et permet ainsi de mieux quantifier l'effet d'événements exceptionnels. Cependant, sur le terrain, des différences de granulométrie importantes ont été constatées entre des prélèvements de MES réalisés par pompage/centrifugation ou par prélèvement manuel suivi de décantation en centrifugeuse et ceux réalisés à l'aide de pièges à particules. Dans l'objectif de quantifier l'efficacité du piège par classe granulométrique, des expériences en milieu contrôlé (canal de laboratoire) ont été menées.

Ces expériences ont consisté à exposer le piège pendant un temps donné (environ 1 heure) à un flux constant (débit imposé) de sédiment naturel de granulométrie étendue. Plusieurs débits ont été explorés. Pour chaque exposition et donc chaque débit, des mesures de vitesse, de concentration en MES et de granulométrie ont été réalisées à plusieurs hauteurs. Nous avons mis en évidence que d'un débit à l'autre l'efficacité varie grandement. Elle varie aussi en fonction de la granulométrie des sédiments. Les sédiments grossiers sont très représentés dans le piège alors que peu présents dans les prélèvements en suspension. Ainsi, la granulométrie des sédiments piégés est plus proche de la granulométrie des sédiments prélevés au fond du canal qu'à la hauteur de l'entrée du piège (5 cm au-dessus). L'impact du piège sur l'écoulement est probablement à l'origine de ce phénomène. On observe en effet une réduction de plus de 10% de la vitesse juste en amont du piège par rapport à un mètre en amont. Le piège a été reprofilé pour voir l'effet d'une telle forme mais l'impact sur la granulométrie collectée n'est pas significatif. L'ajout d'un ajutage plus long en amont des orifices d'entrée pourra également être testé.

Ces résultats ne remettent pour autant pas en question l'utilisation du piège pour la mesure de flux de contaminants car il reste un très bon moyen de concentrer des MES représentatives de la rivière lors de prélèvements intégratifs, en vue d'analyses physico-chimiques.

Mots-Clés: piège à particule, granulométrie, efficacité

10 ans de mesures hautes fréquences des MES par turbidité sur le site Arc-Isère

Benoît Camenen ¹, Julien Némery ², Thollet Fabien ¹, Rousseau Christophe ² François Lauters ³

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

² IGE, UMR5564 – Grenoble, France

³ EDF - Division Technique Générale (DTG) – 21 rue de l'Europe, 38040 Grenoble cedex 09, France

Les bassins de l'Arc et de l'Isère sont caractérisés par de fortes concentrations en MES (Matières en Suspension) issues principalement de l'érosion des marnes noires. Ils forment l'un des principaux contributeurs au Rhône avec l'Arve, Saône et la Durance. Dans le cadre du site atelier Arc-Isère, labellisé ZABR (Zone Atelier du Bassin du Rhône) depuis 2007, un réseau de mesure des MES par turbidité a été mis en place dans un système de bassins emboîtés (Arvan, Arc, Isère). Une station hydro-sédimentaire typique est constituée d'une mesure du niveau d'eau (capteur de pression, radar) permettant d'estimer en continu le débit liquide par l'intermédiaire d'une courbe de tarage, et d'un turbidimètre associé à un préleveur automatique permettant d'estimer en continu les concentrations en MES. L'ensemble de ces données est bancarisé dans la base de données BDOH (Base de Données pour les Observatoires en Hydrologie, <https://bdoh.irstea.fr/ARC-ISERE/>). Nous proposons de présenter ici un bilan de 10 années de mesures hautes fréquences sous deux points principaux. Le premier concerne la mesure et ses incertitudes avec en particulier les possibles difficultés pour établir les relations MES/turbidité du fait de la forte sensibilité de la turbidité à la granulométrie. Nous présenterons ensuite un bilan de ces 10 années de mesures en distinguant les flux moyens annuels et la dynamique de certains événements typiques observés comme les crues naturelles, les chasses de barrage et les laves torrentielles. Il apparaît ainsi que le flux moyen annuel de l'Isère à Grenoble varie entre 0.8 et 4.5 Mt avec une moyenne d'environ 1.5 Mt. La rivière Arc (à Pontamafrey) apporte entre 30 % et 70 % de ce flux. Si les crues naturelles peuvent constituer une majeure partie du flux annuel, ceci sur une période de temps réduite (≈ 1 % du temps), l'apport des chasses de barrage s'avère en général négligeable. Par contre, la fonte printanière est le premier contributeur après les crues. Ce réseau a enfin permis de mettre en évidence une dynamique spatio-temporelle et ainsi d'évaluer les échanges (érosion / dépôt) le long de ce système au court des chasses de barrages et de crues naturelles mais aussi la célérité d'ondes comme celles engendrées par des laves torrentielles.

Mots-Clés: MES, turbidité, flux

Analyse événementielle quantitative des hystérésis entre débits et matières en suspension sur 15 bassins versants alpins.

Clément Misset ^{1,2}, Alain Recking ¹, Cédric Legout ³, Alain Poirel ⁴, Marine Cazilhac ⁴

¹ Irstea, UR ETGR, centre de Grenoble – St Martin d’Hères, France

² UGA (Université Grenoble Alpes) – 38041 Grenoble, France

³ IGE, UMR5564 – Grenoble, France

⁴ EDF - Division Technique Générale (DTG) – 21 rue de l’Europe, 38040 Grenoble cedex 09, France

Le transport solide par suspension représente une part importante des flux transportés dans la plupart des cours d’eau. La connaissance de ces processus de transport est nécessaire pour optimiser les stratégies de gestions sédimentaires des ouvrages hydroélectriques ou pour répondre à des préoccupations environnementales (transfert de polluants, colmatage interstitiel, végétalisation des cours d’eau). Motivées par ces besoins en connaissances, de récentes avancées méthodologiques et techniques sur la mesure des flux en suspension ont permis la multiplication de stations hydro-sédimentaires dans les Alpes. C’est dans ce contexte qu’une synthèse des chroniques disponibles de 15 bassins versants alpins peu artificialisés (1 à 700 km²) a été réalisée. Cette étude s’appuie sur une analyse événementielle systématique et quantitative des signaux de débit et de concentration en matières en suspension formant des boucles hystérésis. Pour l’ensemble des crues observées l’indice normé de Lloyd (2016) caractérisant l’amplitude et le sens de l’hystérésis a été calculé permettant une comparaison inter et intra bassin. Trois types de boucles sont identifiés :

- Boucles horaires, synonymes de mobilisation de sources proches suivies d’un épuisement du stock de particules fines disponibles;
- Boucles antihoraires, synonymes de mobilisation de sources distantes caractérisées par un retard du signal de concentration sur le signal de débit;
- Relation univoque, synonyme d’apports ininterrompus et de stocks illimités en sédiments.

Afin d’estimer l’influence d’un décalage de l’onde solide par rapport à l’onde liquide sur la boucle d’hystérésis et ainsi valider les observations faites à l’exutoire, un modèle simplifié d’onde cinématique a été appliqué en faisant l’hypothèse que les particules en suspension transitent à la vitesse moyenne de l’écoulement. Il est ainsi possible pour chaque bassin d’estimer la distance nécessaire à la formation d’une boucle antihoraire. En effet, une remobilisation du lit est supposée générer une boucle horaire mais celle-ci peut se transformer en boucle antihoraire si la station de mesure est suffisamment en aval.

Cette analyse montre que le transfert de MES est dominé par les processus de versants pour certains bassins tandis que la remobilisation des stocks du lit est prépondérante pour d’autres. Les cours d’eau possédant des hystérésis majoritairement horaires possèdent des zones propices aux phénomènes de dépôts et reprise de sédiments. Les grandeurs décrivant leur morphologie (largeur de bande active, surface des bancs) semblent être corrélées avec les boucles hystérésis dominantes. Cependant, ces tendances globales cachent en réalité une dynamique saisonnière souvent marquée. Des phases de productions sur les versants et de dépôts dans les lits caractérisés par des signaux antihoraires sont suivies de périodes de transfert vers l’aval lors de la remobilisation de ces stocks avec une signature horaire des boucles d’hystérésis.

Mots-Clés: transport solide par suspension, hystérésis, rivières alpines

Effet de l'arasement d'un barrage sur la qualité et quantité des transferts sédimentaires: Projet OSS 276 (Observatoire des Sédiments de la Seine)

Maxime Debret ¹, Thomas Gardes ^{1,2}, Yoann Copard ¹, Florence Koltalo ², Anne-Lise Develle ³, Julien Deloffre ¹, Stéphane Marcotte ⁴, Pierre Sabatier ³, Sidonie Revillon ⁵, Jean Nizou ⁵, Thierry Berthe ¹, Eric Chaumillon ⁶, Cécile Grosbois ⁷, Michel Simon ¹, Léo Chaumillon ¹, Marc Desmet ⁷

¹ Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C) – 76821 Mont-Saint-Aignan, France
(maxime.debret@univ-rouen.fr)

² COBRA – 55 rue saint Germain, 27000 Evreux, France

³ Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM) – Campus scientifique, 73376 Le Bourget du Lac cedex, France

⁴ COBRA – rue Tesniere, 76821 Mont-Saint-Aignan, France

⁵ Laboratoire Domaines Océaniques (IFREMER) – Place N. Copernic, 29280 Brest, France

⁶ Littoral ENvironnement et Sociétés (LIENSs) – Bâtiment ILE 2, rue Olympe de Gouges 17000 La Rochelle, France

⁷ GéoHydrosystèmes COntinentaux (GéhCO EA6293), Université François Rabelais – Tours, France

Parmi les nombreux affluents de la Seine, l'Eure est l'un des principaux affluents en aval de Poses (Paris) avec une contribution s'élevant à plus de 43% des apports sédimentaires moyens annuels à l'axe Seine. Parmi les ouvrages devant être arasés et jalonnant le corridor de l'Eure, le bief de Martot a favorisé le stockage de sédiments dans une annexe hydraulique nommée l'étang de Martot. Celle-ci a été très récemment étudiée pour son remplissage sédimentaire afin d'évaluer la possibilité d'enregistrement de l'histoire de l'empreinte de l'Homme dans le bassin versant de l'Eure, remontant à 1940, avec une possibilité à 1860. Suite à l'arasement, prévu en Juillet 2017, du barrage de Martot, les conditions hydrauliques et la dynamique sédimentaire seront nécessairement modifiés, posant la question du devenir des polluants susceptibles d'être stockés dans cette annexe mais aussi le long dans le lit depuis des décennies. Les résultats seront comparés avec un enregistrements sédimentaires en Seine en cours d'acquisition.

Les problématiques traitées lors de ce projet sont la compréhension du système actuelle, la variabilité hydro-climatique actuelle et passée, la reconstitution des crues de l'Eure et de la Seine, les historiques/sources des polluants (HAP, PCB, Métalliques, pesticides), les flux de sédiments et flux de polluants, et la bio accessibilité des polluants.

Quels sont les liens matière organique/Minérale/ Polluants? Quels sont les liens granulométrie/Polluants? Impact de l'arasement du barrage sur la morphologie de l'Eure Avale ? Impact de l'arasement du barrage sur les transferts sédimentaires ? Quels sont les liens microbiologie/polluants?

Lors de ce projet, d'importants moyens de mesures in-situ sont déployés. Sur deux sites, le débit, la turbidité, PH, Pression, etc ainsi que de nombreuses campagnes de prélèvements sont mises en place. Ce projet a permis de développer des pièges à sédiment afin de pouvoir proposer des flux de polluants, non pas par des prélèvements ponctuels, mais par une accumulation de sédiment continue dans le temps, permettant ainsi une meilleur intégration de la variabilité des flux.

Mots-Clés: barrage, flux, archives sédimentaires, pollution, Eure, Seine

Quantification des flux sédimentaires en estuaire de la Seine basé sur le réseau de mesure de turbidité

Julien Deloffre ¹, Flavie Druine ¹, Romaric Verney ², Jean-Philippe Lemoine ³, Robert Lafite ¹

¹ Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C), 76000 Rouen, France

² Laboratoire de Dynamique Hydro-Sédimentaire (DYNECO-DHYSED) – Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) – Pointe du Diable, 29280 Plouzané, France

³ GIP Seine-Aval – GIP Seine-Aval – Pôle Régional de Savoirs, 115 Boulevard de l'Europe, 76000 Rouen, France

La mise en place des directives pour la gestion du milieu marin (e.g DCE, DCSMM) a nécessité le développement des réseaux de surveillance automatique des paramètres physico-chimiques des masses d'eau estuarienne. Parmi les paramètres suivis en continu, la turbidité peut être considérée comme un proxy de la concentration en matières en suspension (MES) qui jouent un rôle clef dans le transport et l'accumulation des contaminants d'origine chimiques, métalliques et microbiologiques au sein des écosystèmes estuariens. Sur l'estuaire de la Seine, le réseau SYNAPSES a été mis en place en 2011 avec des stations se répartissant le long du gradient de salinité depuis les eaux continentales jusque l'embouchure. L'établissement des flux sédimentaires en estuaire macrotidal est complexifiée par la gamme de concentration mesurée (de quelques mg/l à plusieurs g/l) et la forte variabilité spatiale et temporelle des flux de matière. Ce projet, mené sur le long de l'estuaire de la Seine vise :

- (i) à optimiser les méthodes appliquées à la quantification des concentrations en MES en examinant la réponse des différents capteurs optiques au regard des caractéristiques des MES;
- (ii) à évaluer la variabilité des concentrations en MES (en association avec les calibrations NTU/MES) et;
- (iii) à quantifier les flux sédimentaires sur la section, de l'échelle de la marée à pluriannuelle à partir de mesures acoustique ponctuelles.

Mots-Clés: turbidité, MES, flux sédimentaires, mesure optique, estuaire, Seine

**B1: Morphodynamique des lits;
évolution récente et passée des lits
fluviaux, continuité sédimentaire**

La bande active est-elle un bon proxy des apports sédimentaires depuis les sites miniers de Nouvelle-Calédonie ?

Mélanie Bertrand ^{1,2}, Frédéric Liébault ¹

¹ Irstea, UR ETGR, centre de Grenoble, 2 rue de la Papeterie, BP 76 – 38402 St-Martin-d'Hères cedex, France
(melanie.bertrand@irstea.fr)

² UGA – Université Grenoble Alpes – 38041 Grenoble, France

L'activité minière d'extraction du nickel depuis les années 1870 a eu des conséquences désastreuses sur les systèmes fluviaux néo-calédoniens. L'érosion minière et les décharges sauvages des résidus d'extraction sur les versants (avant la mise en place d'une législation permettant leur contrôle au début des années 1970) ont engendré des vagues sédimentaires de grande ampleur, induisant des changements morphologiques importants dans les lits des rivières. Ces apports sédimentaires ont contribué à l'élargissement et à l'aggradation des bandes actives. Pour caractériser l'ampleur de ces réponses morphologiques, nous proposons une approche statistique régionale qui vise à détecter les sites affectés par la propagation de ces vagues sédimentaires, à partir de l'utilisation de lois régionales décrivant la relation entre la largeur de bande active et la surface drainée sur une gamme de sites de référence, non impactés par l'activité minière. Ainsi 63 sites non-impactés ont été localisés (dans des conditions géologiques homogènes, au sein des massifs de péridotites) à partir d'une analyse des orthophotographies. Pour chaque site, nous avons extrait des métriques à l'échelle du tronçon et du bassin versant : la largeur de la bande active, la largeur du fond de vallée, la pente du chenal, la surface drainée, la pente moyenne du bassin versant et les proportions du bassin versant recouvertes par de la végétation arborée et par des surfaces en érosion. Nous avons construit, à partir de ces sites non-impactés, un modèle statistique robuste fondé sur la largeur de la bande active et la surface drainée, afin de constituer une référence de fonctionnement naturel ($R^2 = 0.65$). La construction d'un modèle multivarié intégrant les autres métriques énoncées précédemment n'a pas permis d'améliorer significativement la prédiction des largeurs de bande active. Le modèle simple prédisant la largeur de bande active en fonction de la taille du bassin versant a donc été conservé. Nous avons ensuite tenté d'expliquer les écarts entre les valeurs observées et prédites de largeur de bande active avec ce modèle dit " naturel " pour un jeu de 86 sites impactés par des activités minières, notamment grâce à la métrique de proportion du bassin versant recouverte par des surfaces en érosion. Ces surfaces ont été digitalisées manuellement à partir d'une photo-interprétation des orthophotographies, et leur connectivité à une vague sédimentaire se propageant dans le réseau hydrographique a été évaluée de manière experte. Le coefficient de détermination entre les résidus des sites impactés au modèle " naturel " de référence et la surface relative en érosion dans le bassin versant est de 0.44, montrant que cette valeur résiduelle est proportionnelle aux apports sédimentaires. La largeur résiduelle peut ainsi être considérée comme un bon proxy pour la détection à l'échelle régionale du linéaire hydrographique impacté par les vagues sédimentaires d'origine minière.

Mots-Clés: bande active, activités minières, Nouvelle-Calédonie, surlargeur, modélisation statistique, sources sédimentaires

Estimation de l'évolution long-terme du fond des cours d'eau à partir des données hydrométriques

Jérôme Le Coz ¹, Graeme Smart ², Murray Hicks ², Benjamin Renard ¹, Valentin Mansanarez ^{1,3}

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua, BP 32108, 69616 Villeurbanne cedex, France (jerome.lecoz@irstea.fr)

² NIWA – Christchurch, Nouvelle Zélande

³ Université de Stockholm – Suède

L'évolution de la géométrie du lit des cours d'eau n'est qu'exceptionnellement suivie sur le long-terme par des levés topographiques (profils en travers, profils en long, lignes d'eau). Même lorsque de telles données existent, leur comparaison pose des problèmes de représentativité spatiale et temporelle (sections en travers différentes, talweg mobile et peu représentatif de la cote moyenne du fond, lignes d'eau mesurées pour différents débits, etc.). L'évolution morphologique sur long-terme est alors difficile à quantifier précisément. Par chance, les jaugeages et courbes de tarage accumulés pendant des décennies sur les sites des stations hydrométriques constituent une précieuse source d'information sur l'évolution des fonds. Une première utilisation est de considérer la hauteur d'eau correspondant à un débit fixé, pour la série de courbes de tarage disponibles. Le choix du débit de référence est important car il détermine la nature du trait morphologique dont on suit alors l'évolution : pour un débit d'étiage, la hauteur d'eau sera en général déterminée par la largeur et cote d'une section de contrôle local, tandis que pour un débit intermédiaire elle sera représentative du niveau moyen du lit mineur. La hauteur d'eau pour un débit débordant fera en outre intervenir le niveau du lit majeur. L'avantage sur des levés topographiques est qu'on peut estimer ainsi des paramètres moyens à l'échelle du tronçon de cours d'eau.

Une méthode originale a été développée pour estimer les paramètres des courbes de tarage successives, par analyse bayésienne en séquence. Ces paramètres ne dépendent plus d'un débit de référence à fixer mais sont liés aux différents contrôles hydrauliques identifiés : radier de contrôle des bas débits, chenal de contrôle du lit mineur, du lit moyen (bancs), du lit majeur, etc. Les dates de détarage ne sont pas estimées mais reprises des archives hydrométriques existantes. L'intervalle d'incertitude de chaque paramètre est estimé, en supposant toutefois qu'aucun détarage n'a été ignoré par le gestionnaire de la station. On peut ainsi clairement distinguer l'évolution du chenal de celle de radiers locaux et évaluer si les évolutions temporelles observées sont significatives au regard des incertitudes d'estimation. La méthode est illustrée avec plusieurs cas d'application sur des cours d'eau plus ou moins instables en France et en Nouvelle-Zélande, soumis à différentes pressions naturelles ou anthropiques. Ce type d'analyse pourrait être appliquée à plusieurs sites de stations hydrométriques pour constituer une analyse synoptique des évolutions morphologiques à l'échelle d'un bassin versant. Néanmoins, les relevés bathymétriques et géomorphologiques, ainsi que l'analyse des séries de hauteur d'eau, restent des données importantes pour contrôler les résultats de la méthode, ou au moins les comparer.

Mots-Clés: rivière, morphologie, hydrométrie, jaugeage, courbe de tarage

Fonctionnements morpho-sédimentaire actuel et passé des cours d'eau de faible énergie : enjeux scientifiques et perspectives de gestion en Basse Normandie.

Anne-Julia Rollet ¹, Axel Beauchamp ², Laurent Lespez ³, Damien Carbon ¹,

¹ Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG) UMR6554 – France
(anne-julia.rollet@univ-rennes2.fr)

² Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG) – 1 Esplanade de la Paix - BP 5186 14032 Caen
cedex 5, France

³ Laboratoire de géographie physique (LGP) UMR8591, Meudon, France

Les études relatives aux dynamiques morphologiques et sédimentaires des cours d'eau de faible énergie sont aujourd'hui assez peu nombreuses. Contrairement aux systèmes de plus forte énergie (Loire, Rhône, Ain etc...), ils n'ont pas fait preuve ce siècle dernier de déséquilibres morphologiques potentiellement préjudiciables pour les activités ou aménagements anthropiques. Ces cours d'eau, notamment en Normandie ont fait l'objet d'aménagements très anciens (depuis l'époque gallo-romaine), mais surtout ont été très densément équipés en ouvrages hydrauliques au cours de l'époque médiévale (environ un seuil tous les 4 km) ce qui a participé à leur grande stabilité. Suite aux fortes incitations européennes, les actions de restauration se sont multipliées sur le territoire français. Parmi les objectifs souvent visés par ces actions de restauration, la question de la continuité sédimentaire tient une place centrale. En Normandie, cette restauration passe le plus souvent par des suppressions d'ouvrages transversaux. Cette communication questionne ainsi l'effet de la multiplication de ces actions de décloisonnement sur l'équilibre actuel et à venir des petits cours d'eau de l'ouest de la France ainsi que les enjeux à venir notamment en termes de gestion de la charge de fond et du potentiel piscicole. Nous proposons ainsi une synthèse de différents travaux menés sur quatre sites bas normands (Sélune, Seulles, Huisne et Sienne) centrés sur l'étude des dynamiques hydrosédimentaires actuelles et passées. Dans un premier temps nous présenterons les effets hydrogéomorphologiques cumulés de l'aménagement hydraulique (rectification, dédoublement, seuils) de ces rivières rurales, sur plusieurs siècles, à partir d'investigations géomorphologiques et géoarchéologiques. La reconstitution du tracé, de la pente et de la géométrie en travers de paléochenaux d'après quatre transects géomorphologiques complets dans les plaines alluviales des sites, permet d'estimer le potentiel d'énergie et d'envisager une discussion sur les capacités de transport passées. Ces résultats seront mis en perspective avec les observations des dynamiques actuelles (mobilité de la charge de fond, mobilité latérale et puissances spécifiques) réalisées à partir de levés topographiques (lunette et DGPS) et traçages sédimentaires (parcelles peintes, Pit-tags). Cette démarche nous permet ainsi :

- (i) de discuter le double effet des aménagements historiques sur ces cours d'eau (concentration des écoulements et cloisonnement);
- (ii) de questionner la notion de cours d'eau de " faible énergie " et;
- (iii) de soulever des pistes de réflexion quant aux trajectoires à venir de ces cours d'eau en réponse à la multiplication des actions de désaménagement.

Mots-Clés: Normandie, faible énergie, aménagement historique, dynamique hydro-sédimentaire

Déficit sédimentaire et ajustements morphologiques de la moyenne Garonne durant les 50 dernières années et facteurs de contrôle : exemple du seuil de Beauzelle à l'aval de Toulouse

Hugo Jantzi ¹, Jean-Michel Carozza ², Jean-Luc Probst ³

¹ GEODE UMR 5602 (Géographie de l'environnement), Université Jean Jaurès – 5 allée Antonio Machado, 31058 Toulouse, France (hugo.jantzi@univ-tlse2.fr)

² LIENSS UMR 7266 (Littoral ENvironnement et Sociétés), Université de La Rochelle – 1 Parvis Fernand Braudel, 17042 La Rochelle, France

³ ECOLAB UMR 5245 CNRS/INPT-ENSAT – 31326 Castanet Tolosan, France

Depuis plusieurs décennies, la moyenne Garonne à l'aval de Toulouse connaît une modification importante de sa morphologie et de son fonctionnement hydro-sédimentaire. Cette évolution est passée par une contraction de la bande active (David, 2016) puis un enfoncement du chenal, processus initiés dès le début du XXe siècle et pouvant être attribués à la réduction des apports sédimentaires liée à la sortie du Petit Age Glaciaire (ie. baisse de la dynamique hydrologique), le changement d'occupation du sol (ie. reboisement des versants) et la mise en place des premiers barrages pyrénéens (Jantzi et al., 2017). Les années 1950 marquent une rupture avec une nette accélération des processus dont la principale cause revient aux activités anthropiques (ie. extraction et chenalisation) en lit mineur au premier rang desquelles les prélèvements de granulats dont la part dans l'incision représente 80% (Jantzi et al., accepté). L'incision de par son ampleur, 1 m en moyenne et jusqu'à 3 m localement entre les années 1960 et 1990, a entraîné un décapage intégral de la charge alluviale en de multiples secteurs laissant apparaître fréquemment des affleurements rocheux dont la part par rapport à la superficie totale du chenal est passée de 30% dans les années 1990 à 50% en 2007 (Delmouly et al., 2007). De fait à ce jour, la moyenne Garonne connaît un déficit sédimentaire important. Le présent travail, se focalise sur l'analyse des ajustements du chenal à partir des années 1950, en insistant notamment sur le phénomène d'incision. Il s'agit dans un premier temps de faire le point sur l'ampleur et la variabilité spatio-temporelle de la dynamique latérale et verticale du chenal entre les confluences de l'Ariège et du Tarn, depuis le début du XXe siècle afin de mettre en perspective la spécificité et la rupture que représente la seconde moitié du XXe siècle dans l'évolution de la Garonne. Dans un second temps, il s'agit au travers de l'étude d'un site (Beauzelle) localisé à proximité de Toulouse et caractérisé par la présence d'un seuil rocheux dont l'apparition peut être datée au milieu des années 1970, de mettre en évidence par retro-observation les forçages naturels et anthropiques ainsi que les processus physiques à l'origine des ajustements morphologiques du site. En effet dans ce secteur soumis à l'extraction de granulats durant les années 1970, un enfoncement moyen de près de 3 m a été estimé entraînant par érosion régressive la rupture d'une conduite de gaz ainsi que l'évacuation quasi totale de la charge alluviale. Pour ce faire, l'analyse se fonde sur l'utilisation de photographies aériennes, de données hydrologiques et topographiques. L'objectif est de pouvoir articuler (1) la phase d'évacuation de la charge alluviale avec (2) la phase d'apparition du seuil rocheux mis à nu par l'incision et de proposer un schéma conceptuel décrivant la transition entre rivière alluviale et rivière à fond rocheux dans le cas de la Garonne.

Mots-Clés: Moyenne Garonne, ajustements morphologiques, incision, seuil rocheux, activités anthropiques

Forçages climatiques et anthropiques sur l'évolution morpho-sédimentaire holocène du Cosson (Loir-et-Cher).

Aurélien Lacoste ¹, Clément Laplaige, Florent Hinschberger, Isabelle Gay-Ovejero, Karna Coulibaly, Aurore Muracciole, Jean-Paul Bakyono, Xavier Rodier ^{2,3}

¹ GéoHydrosystèmes COntinentaux (GéhCO EA6293), Université François Rabelais – Tours, France
(aurelien.lacoste@univ-tours.fr)

² UMR 7324 CITERES-LAT, Université François-Rabelais – France

³ Consortium MASA, TGIR Huma-Num (MASA), UMS3598 – France

Les variations climatiques naturelles et les perturbations liées aux activités anthropiques ont une grande influence, à différentes échelles spatio-temporelles, sur la dynamique hydrosédimentaire et la morphologie des cours d'eau. De nombreuses études précisent notamment les modalités de modifications de régime fluvial postérieures au dernier maximum glaciaire. Si la majeure partie de l'évolution holocène des cours d'eau semble liée aux fluctuations climatiques, il est fondamental, pour la période historique (i.e., post-Age du Bronze), de prendre en compte et d'estimer l'influence anthropique, via la mise en culture, sur cette évolution. Le bassin versant du Cosson, au sud de la Loire entre Orléans et Blois, draine les formations miocènes de la Sologne. Les terrasses alluviales du Cosson témoignent d'une histoire commune avec la Loire, avant individualisation de ces cours d'eau au cours du Pléistocène moyen. Dans le Domaine National de Chambord, l'analyse de MNT issus d'une acquisition LIDAR aéroportée montre en surface de la plaine d'inondation du Cosson (canalisé depuis le 15^{ème} siècle) la trace de multiples chenaux. Lors de cette étude, nous avons acquis des données de résistivité électrique et analysé des sondages carottés. Les dépôts alluviaux ont été contraints chronologiquement par datations au radiocarbone.

Les premiers résultats permettent de distinguer pour la période Holocène deux séquences majeures : une séquence basale épaisse de plusieurs mètres d'alluvions grossières (sables grossiers et graviers dominants) et une séquence sommitale constituée d'environ 1m de matériel silto-argileux. Les âges obtenus situent la transition entre ces deux séquences entre 200 et 500 ap. J-C, alors qu'aucune modification majeure du régime fluvial ne semble intervenir au début de l'Holocène. Des analyses fines des alluvions sont en cours : granulométrie, nature et degré de maturation de la matière organique, palynologie... Ces analyses permettront de caractériser les sources sédimentaires et contraindre les paléoenvironnements dans le bassin versant, afin de préciser l'influence respective des facteurs forçants climatiques et anthropiques sur la dynamique fluvial, dans ce contexte de cours d'eau de plaine où l'activité humaine (antérieure et postérieure à la construction du château de Chambord) est bien documentée par les prospections archéologiques et les écrits historiques.

Mots-Clés: dynamique holocène, sédimentation, impact anthropique, paléoenvironnement

Etude de la morphodynamique du lit du fleuve Var dans sa partie aval à partir de levés LiDAR

Margot Chapuis ¹, Amine Ait Elabas ²

¹ Laboratoire ESPACE/CNRS UMR 7300 – 98 bd Edouard Herriot - BP 3209 06204 Nice cedex 3, France
(margot.chapuis@unice.fr)

² Université Lumière - Lyon 2, France

Cette étude s'inscrit dans le cadre du retour d'expérience sur les opérations d'abaissement des seuils et des opérations d'entretien de la végétation sur le fleuve Var. Cette opération fait partie intégrante du SAGE Nappe et Basse vallée du Var[1], dans l'objectif de "redonner au Var son faciès méditerranéen, diminuer les risques d'inondation, restaurer le fonctionnement en tresse et les milieux ouverts favorables à la biodiversité, tout en réduisant les besoins d'entretien de la végétation et des ouvrages"[2].

A partir du traitement de différentes sources de données, et en particulier à partir de 3 campagnes de relevés LiDAR (2011, 2013 et 2014), cette étude préliminaire visait à :

- intégrer les progrès récents en termes de traitements de données LiDAR au cas spécifique du Var, afin d';
- améliorer notre compréhension des dynamiques morphosédimentaires d'une rivière endiguée dans sa partie aval, qui retrouve un faciès méditerranéen divagant voire tressé;
- quantifier les évolutions morphologiques du lit suite à l'opération d'abaissement des seuils;
- identifier ou développer des indicateurs en termes de gain de fonctionnalités d'un cours d'eau méditerranéen; et enfin
- proposer un protocole de suivi et des préconisations pour l'acquisition des futurs jeux de données LiDAR.

L'étude morphodynamique de la zone nous a permis d'approfondir notre compréhension des dynamiques couplées entre hydrologie, flux sédimentaires, morphologie et dynamiques végétales dans la basse vallée du Var (résultats en termes de *processus*) : le fleuve Var apparaît comme un système actif, qui retrouve rapidement une dynamique sédimentaire via les apports amont redynamisés par l'abaissement des seuils. L'analyse des jeux de données LiDAR existants a été l'occasion de formuler des préconisations techniques pour les prochaines campagnes d'acquisition, tandis que des indicateurs de "fonctionnalité" adaptés au contexte méditerranéen ont pu être identifiés (résultats en termes de *méthodologie*). Enfin, nous avons pu développer une proposition de suivi hydromorphologique de la zone d'étude en décrivant les bases d'un programme de mesures à mettre en place sur la zone d'étude (résultats en termes de *gestion*).

[1] PAGD du SAGE : http://www.gesteau.eaufrance.fr/sites/default/files/sage_bvv_pagd_0.pdf

[2] Restauration morphologique du fleuve Var – abaissement des seuils 9 et 10, communes de Carros et Castagniers. Dossier de candidature au Grand Prix National du génie écologique DEB/ASTEE, p. 2.

Mots-Clés: morphodynamique, fleuve Var, levés LiDAR, indicateur de fonctionnalité, rivière en tresse, continuité sédimentaire, restauration du fonctionnement hydrosédimentaire

Importance des dépendances amont-aval et de la connaissance de l'héritage historique pour gérer la trajectoire morphologique des systèmes torrentiels : cas de la Rivière des Galets

Christophe Peteuil ¹, Faouzia Nassor ²

¹ Compagnie Nationale du Rhône (CNR) – 2, rue André Bonin - 69316 Lyon cedex 04, France

² SIVU de la Rivière des Galets – 9, rue Renaudière de Vaux - B.P. 62004 - 97821 Le-Port cedex, France

La Rivière des Galets figure parmi les rivières les plus puissantes de la Réunion et a longtemps été perçue comme un réservoir inépuisable de matériaux. Les difficultés à quantifier la dynamique des systèmes torrentiels expliquent la méconnaissance des apports solides naturels produits par cette catégorie de bassins. La prise de conscience tardive de l'importance de la dynamique sédimentaire sur l'équilibre global des systèmes fluviaux a laissé le champ libre à des extractions de grande ampleur. En 25 ans, 10 Mm³ de sédiments ont été prélevés alors que les apports moyens annuels de la Rivière des Galets se situeraient autour de 0.1 Mm³. Cette pression anthropique a sérieusement déséquilibré la partie aval du cours d'eau, provoquant un recul de son delta d'environ 100 m. Ces besoins en granulats s'expliquent par le développement économique et territorial rapide de la Réunion durant la période 1950-1980. A la périphérie des agglomérations naissantes de la Ville-du-Port et de Saint-Paul, ces changements ont conduit à une augmentation des enjeux exposés aux aléas torrentiels. L'évolution de l'occupation des sols et les dégâts dus à des crues cycloniques ont justifié sur la période 1967-1999 de concevoir puis d'édifier un ambitieux système de protection constitué d'épis monumentaux suivis d'un endiguement étroit. Ces études et ces travaux ont été menés dans un contexte de déséquilibre sédimentaire profond caractérisé par des réajustements morphologiques toujours en cours lors de la construction. En réduisant l'espace de divagation de la rivière et en fixant ses berges par des ouvrages intensifiant localement les vitesses d'écoulement, cet aménagement a lui-même conduit à étendre spatialement la tendance initiale à l'incision et à mettre à jour localement un affleurement qui influe négativement sur la trajectoire morphologique de la rivière. Le suivi initié dès 1996 par le gestionnaire montre une incision maximale atteignant -8 m et une érosion totalisant 1.4 Mm³. Parallèlement, les conditions d'apports solides à l'exutoire du bassin d'alimentation semblent avoir été drastiquement modifiées par le tarissement des stocks sédimentaires hérités d'événements géologiques et climatiques majeurs du passé. Cette évolution questionne la validité des conditions aux limites considérées lors de la conception des ouvrages. La combinaison de ces facteurs – extractions, travaux, substratum localement affleurant, régime sédimentaire modifié – expliquerait donc que la trajectoire morphologique actuelle de la rivière s'écarte de celle prédite lors de la conception. Cet exemple souligne l'importance de connaître l'héritage sédimentaire d'un système torrentiel et de suivre son évolution pour être en mesure d'assurer une gestion opérationnelle la plus éclairée possible. Il montre aussi qu'il est essentiel de mener des études de sensibilité dans les phases de conception en considérant, non seulement le scénario de référence, mais également des scénarios d'apports dégradés intégrant les dépendances aux fluctuations amont. Cet exemple illustre enfin la nécessité, pour définir le profil en long d'équilibre du lit d'un torrent tropical côtier comme celui de la Rivière des Galets et tenir compte de l'interdépendance entre les différents compartiments du système, de considérer une zone d'analyse très élargie s'étendant à minima de l'amont de la gorge de raccordement jusqu'au delta.

Mots-Clés: torrent, Ile de la Réunion, dynamique torrentielle, trajectoire morphologique, incision, extraction, endiguement

Signatures hydrologiques du barrage-seuil de Mobaye sur la continuité hydrosédimentaire de l'Oubangui (Bassin du Congo)

Chanel Nzango ¹, Laurent Touchart ¹, Pascal Bartout ¹, Séverin Ngocko ¹, Cyriaque Nguimalet ²

¹ Laboratoire CEDETE – Université Orléans – EA 1210, France (jerry.nzango@etu.univ-orleans.fr)

² Laboratoire LACCEG (LACCEG) – République centrafricaine

Parmi les nombreux travaux qui abordent la problématique de l'impact des barrages sur la continuité sédimentaire des hydrosystèmes fluviaux, il y a ceux de Olley & Wallbrink (2004) qui ont montré que la présence de barrages de toutes tailles sur un corridor fluvial altère le transport solide par "l'effet retenues" du plan d'eau qui réduit le flux total de sédiments à l'exutoire d'un bassin. Selon Williams & Wolman (1984) les grands barrages ont une efficacité de piégeage supérieure aux petits, car ceux-ci piègent entre 50 à 100% des flux solides entrants. Les travaux parallèles effectués par l'ONEMA sur des cours d'eau Français ont aussi montré que l'impact de ces ouvrages transversaux est fonction de leur taille, de leur type et de leur mode de gestion. L'objet ici est de vérifier le fondement de toutes ces hypothèses sur un demi-barrage aménagé en 1989 sur le cours moyen de la rivière Oubangui (affluent septentrional du fleuve Congo).

L'ouvrage étudié est un demi-barrage qui fonctionne comme un seuil en rivière, laissant l'eau s'écouler de manière permanente dans la moitié transversale du chenal qui n'est pas barrée, il est aménagé dans la localité de Mobaye sur les rapides de l'Oubangui, rivière frontalière entre le Centrafrique et le Congo démocratique ; il s'agit de l'unique barrage sur l'Oubangui, long de 384 mètres, formant une petite retenue, dont la mise en eau s'est accompagnée de quelques altérations dans la géométrie hydraulique locale du chenal, notamment par l'effet des dérochements des barres quartzeuses qui accentuent la vitesse du courant en aval immédiat du barrage. La méthode de "station témoin" a servi de base pour évaluer l'impact hydro-sédimentaire de ce type de barrage ; l'évaluation s'est faite sur base de comparaison des données hydrométriques (chroniques de débits) et photographiques (imageries aériennes, images Spot etc.). Quelques observations de terrain (levés topo-bathymétriques, mesures du charriage de fond etc.) complètent l'analyse. Trois secteurs fonctionnels d'amont en aval ont fait l'objet de cette évaluation à savoir les secteurs de Mobaye (0 à 10 Km du barrage), de Bangui (≈ 370 Km du barrage) et de Zinga (≈ 450 Km du barrage). Le choix des secteurs est fait en fonction de la disponibilité des données limnimétriques et photographiques.

Les résultats soulignent une incision locale du chenal du fait de l'accroissement de la vitesse du courant, ce qui induit une érosion progressive des unités géomorphologiques (bancs vifs, îlot, îles etc.) situées en aval du barrage. Le budget sédimentaire établi entre la période pré et post-aménagement s'élève respectivement de -22% et -6% sur les deux premiers secteurs (secteurs de Mobaye et de Bangui) et d'environ 1% sur le dernier secteur situé à plus de 450 Km du barrage. Ce qui laisse présager que l'impact hydrosédimentaire de ce type de barrage n'est pas uniforme sur le bief court-circuité, il est significatif sur les premiers kilomètres du barrage et dévient mineur quand on s'éloigne de celui-ci.

Mots-Clés: continuité hydrosédimentaire, altérations hydromorphologiques, barrage, Oubangui, bilan morphosédimentaire

Evolution temporelle des rapports de débit et moment cinétique au niveau des confluences : cas du bassin du Haut-Rhône (CH)

Romain Cardot ¹

¹ Institut des DYnamiques de la Surface Terrestre (IDYST) – Suisse

Les confluences sont des éléments-clés d'un réseau hydrographique. Les études de terrain et de laboratoire ont également montré que l'érosion et le dépôt se font selon des motifs liés aux circulations spécifiques observées au niveau des zones de confluences. De précédentes études ont par ailleurs insisté sur le rôle prépondérant du facteur de symétrie entre les deux chenaux comme facteur de contrôle de la morphologie du lit. Ce dernier est généralement exprimé comme le rapport entre les aires de drainage, ce qui reflète la taille et le débit moyen relatifs de l'affluent par rapport au cours d'eau principal. Cependant, des études montrent également que la morphologie du lit des confluences varie dans le temps, et notamment avec le rapport de débit entre les deux cours d'eau (*i.e.* le rapport $Q_r = Q_t/Q_m$, avec t : *tributary* et m : *main stem*). De plus, le rapport de moment cinétique (*i.e.* considérant la géométrie des chenaux confluent) pourrait mieux expliquer la morphologie des confluences. La variabilité du rapport de débit, et donc du rapport de moments cinétiques angulaires est un phénomène naturel dans n'importe quel bassin versant. Ils dépendent en effet du temps de réponse des différents bassins versants, qui est lui-même fonction de la forme et de la taille du bassin, mais aussi de la variabilité des processus hydrologiques dominants. Par exemple, la réponse de sous-bassins versants alpins à la température et aux précipitations va dépendre de la distribution des altitudes de chacun, ce qui peut entraîner des variations temporelles du rapport de débit. Un modèle hydrologique distribué (250×250m) du bassin versant du Haut-Rhône (SW des Alpes suisses) de pas de temps horaire, est utilisé pour déterminer la variabilité des ratios de débit au niveau de nombreuses confluences réparties sur le bassin versant.

Les caractéristiques géométriques des confluences sont déterminées à l'aide de bases de données, de numérisation d'images aériennes, ainsi que par des mesures de terrain complémentaires. Le rapport de débit entre les deux cours d'eau est calculé pour chaque pas de temps sur une sélection d'une centaine de confluences. Le moment cinétique est ensuite calculé à partir des caractéristiques géométriques de la jonction. L'occurrence des différentes gammes de ratios est ensuite étudiée au regard de facteurs tels que la position de la confluence dans le bassin versant du Haut-Rhône et des caractéristiques de chacun des deux sous-bassins qui s'interceptent.

Les premiers résultats montrent que les confluences situées dans les parties les plus hautes du bassin versant tendent à avoir une plus grande variabilité de rapports de débit que celles situées plus en aval. Cela reflète l'effet d'échelle ("*scaling effect*") des réseaux hydrographiques introduit par Horton (1945). Parfois, le rapport de débit peut également s'inverser (*i.e.* lorsque l'affluent devient majoritaire en terme de débit par rapport au cours d'eau principal). La morphologie des confluences n'est pas toujours en équilibre avec les flux hydrauliques entrants. Il semble donc que les interactions entre morphologie du lit et rapport de débit est possiblement plus compliquée que ce que peuvent le suggérer les études de laboratoire en canaux.

Mots-Clés: confluences, Rhône, rapport de débit, typologie

Diagnostic hydromorphologique de la Dordogne dans sa moyenne vallée à partir de données historiques et de mesures in situ : évaluation des contrôles et de la sensibilité de la rivière au changement

Fabien Boutault ¹, Hervé Piégay ², Jean-Marc Lascaux ¹, Théo Bulteau ³

¹ Etudes et COnseils en Gestion de l'Environnement Aquatique (ECOGEA) – 352 avenue Roger Tissandié, 31600 Muret, France

² Environnement Ville Société (EVS), UMR5600 – 18 Rue Chevreul 69362 Lyon cedex 07, France

³ GéoHydrosystèmes COntinentaux (GéHCO EA6293), Université François Rabelais – Parc de Grandmont, 37200 Tours, France

L'analyse rétrospective, classiquement conduite en géomorphologie fluviale, permet d'évaluer les facteurs qui contrôlent les ajustements morphologiques des cours d'eau. L'un des défis scientifiques est de séparer et potentiellement hiérarchiser le rôle de chaque facteur via une démarche quantitative afin d'évaluer les responsabilités respectives des différents acteurs concernés, de comprendre la capacité actuelle de la rivière à s'ajuster et de proposer des solutions adaptées. Cette approche se renouvelle sans cesse du fait de l'utilisation de nouvelles techniques et de données originales. Dans cette perspective, nous explorons cette question sur la section moyenne (tronçon de 160 km de long) de la rivière Dordogne (sud-ouest de la France). Les approches monographiques sont encore rares dans l'ouest de la France et l'acquisition de nouveaux cas d'étude constitue un enjeu opérationnel et académique important. Au cours du vingtième siècle, la rivière Dordogne a enregistré plusieurs changements morphologiques, en raison de différentes pressions humaines. Pour évaluer et quantifier les effets unitaires et cumulatifs de ces pressions, des données historiques et des mesures in situ ont été collectées et analysées. Les données historiques (chroniques hydrologiques, profils longitudinaux du lit, sections transversales, acquisition LIDAR, anciennes cartes, photographies aériennes) montrent une diminution des débits liquides potentiellement "morphogènes", une tendance générale à l'incision du lit de la rivière et une diminution significative de la largeur du chenal actif après la construction d'une succession de barrages réservoirs dans la partie amont du bassin (1950). L'incision et le rétrécissement ont été amplifiés par l'extraction de gravier en lit mineur (1960-70) et la mise en place de protection de berges (1980). Les données sur le terrain fournissent des informations supplémentaires pour interpréter l'ajustement morphologique de la rivière et de la plaine d'inondation. Elles ont été recueillies tout au long du linéaire d'étude : (1) sur les têtes de bancs pour l'analyse granulométrique, (2) dans les chenaux latéraux et la plaine d'inondation pour évaluer la dynamique de la sédimentation fine, (3) dans le chenal lui-même pour quantifier le transport de la charge de fond (seuil de mise en mouvement, distances de transport, épaisseur de la couche active et volume) en utilisant des traceurs RFID actifs et passifs. Les données historiques et les données sur le terrain sont ensuite combinées pour établir un budget sédimentaire afin de mieux comprendre les volumes en jeu et la sensibilité de la rivière au changement en évaluant les vitesses de transit.

Mots-Clés: budget sédimentaire, connectivité de la plaine d'inondation, Dordogne moyenne, impacts cumulés, pressions anthropiques, transport solide

B2: Morphodynamique des lits;
Dynamique des formes de fond (bancs,
dunes etc.)

Systeme stéréo de caméras pour l'estimation de la dynamique des sédiments fins sur un banc de galets

Lionel Pénard ¹, Benoît Camenen ¹ Alexis Buffet ¹ Fabien Thollet ¹

¹ Irstea, UR HHLY), centre de Lyon-Villeurbanne – 5, rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France (lionel.penard@irstea.fr)

L'Arc est une rivière alpine avec de forts apports en sédiments fins principalement transportés en suspension. L'estimation des flux de ces sédiments a connu d'importants progrès, en revanche la mesure des échanges avec le lit (dépôt/érosion) reste délicate, car leurs volumes sont dans l'ordre de grandeur des incertitudes sur les flux. Or les dépôts de sédiments fins jouent un rôle déterminant sur la stabilité des bancs, la croissance de la végétation pionnière, la raréfaction de la mise en eau des bancs par surélévation, la qualité du milieu et le colmatage.

Afin de mieux estimer ces dépôts sur un banc de galets de l'Arc (au niveau de Ste-Marie-de-Cuines) et de suivre leur évolution dans le temps, un système stéréo de deux caméras a été installé en haut de berge de l'Arc. Une large partie du banc se trouve dans la zone de recouvrement des deux caméras. Ces caméras fonctionnent en mode time-lapse, c'est à dire avec des prises de photos à intervalle régulier, permettant d'avoir quelques images quotidiennement de l'état de surface du banc. La période d'étude s'étend sur le printemps et l'été 2017, période pendant laquelle s'est déroulée la chasse des barrages de l'Arc le 1er juin. Aux prises de vues image, ont été adjointes des mesures de la topographie du banc, de l'épaisseur des dépôts, de la granulométrie des dépôts, de la granulométrie de surface du banc, ceci avant et après l'événement de chasse, ainsi que des prélèvements de matériaux en suspension (MES) pendant la chasse.

Le traitement des données image est réalisé selon deux axes :

- une analyse colorimétrique et texturale, calée et validée à partir des mesures quantitatives in situ, permet d'obtenir une carte granulométrique de la surface du banc;
- un traitement des couples stéréo fournit un modèle numérique de la surface du banc et donc le volume de celui-ci.

Ces traitements sont d'une part appliqués à l'estimation des dépôts pendant la chasse avec comparaison de la répartition des fines à la surface et de l'élévation du banc avant et après chasse, et d'autre part, ils permettent de suivre l'évolution sur une période plus longue, sans événement hydrologique, afin d'estimer l'éventuel impact météorologique (pluie, vent) sur l'état de surface du banc. Enfin, en plus de ce suivi temporel mais spatialement ponctuel, des images acquises avant et après la chasse par drone sur un tronçon plus étendu permettent de généraliser nos résultats obtenus localement.

Mots-Clés: dépôts de fines, dynamique des bancs, traitement d'images, stéréoscopie

Action de différents débits de crue sur la dynamique des formes fluviales végétalisées dans un lit de rivière à galet

Camille Jourdain ^{1,2}, Philippe Belleudy ¹, Michal Tal ³, Jean-René Malavoi ⁴, Nicolas Claude ²

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), Université Grenoble-Alpes – CS 40700, 38058 Grenoble cedex 9, France (cam.jourdain@gmail.com)

² Electricité de France (EDF), Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) – EDF R&D – Quai Watier, Chatou, France

³ CEREGE – Université Aix-Marseille – Europôle Méditerranéen de l'Arbois, av. Louis Philibert - BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

⁴ Electricité de France (EDF), Lyon, France

L'action des crues fréquentes ou intermédiaires (temps de retour compris entre moins d'un an et 10 ans) sur le renouvellement des macroformes végétalisées des lits de rivières présente un fort intérêt opérationnel : la gestion de la végétation par des lâchers d'eau artificiels simulant des crues naturelles est une option de plus en plus souvent considérée dans les rivières aménagées. Cependant leur impact est peu documenté. Dans ce contexte, cette étude a cherché à caractériser l'action de différents débits sur la dynamique sédimentaire et végétale d'une rivière à galets endiguée et fortement aménagée, à partir de photographies aériennes et de la chronique hydrologique. Le site d'étude de ce travail est l'Isère en Combe de Savoie, rivière des Alpes françaises. L'analyse a été effectuée à l'échelle d'un tronçon de 20 km, pour la période 1996-2015.

L'essentiel de la destruction de la végétation présente dans le lit de l'Isère est due à l'érosion latérale de la partie amont des bancs végétalisés, témoignant de leur migration vers l'aval. Les paramètres hydrologiques expliquant le mieux la destruction de la végétation sont les volumes d'eau transités en crue entre 350 m³/s (temps de retour \approx 1 an) et 600 m³/s (temps de retour de l'ordre de 5 ans). Les surfaces de végétation détruites par des processus hydro-sédimentaires sont modestes en regard des nouvelles surfaces colonisées par la végétation : 3,4% de végétation détruite annuellement en moyenne, contre 6,2% d'installation de nouvelle végétation. Ces résultats suggèrent que sur le tronçon analysé, des lâchers de crues artificielles dans les gammes de débits identifiées permettraient d'intensifier les dynamiques sédimentaires et végétales du lit, mais non de maintenir l'espace inter-digues libre de végétation.

Un exercice de modélisation numérique hydro-sédimentaire de ce tronçon prenant en compte les dynamiques végétales est actuellement en cours. Il permettra d'élargir cette analyse : nous explorons comment la dynamique des formes fluviales d'un lit endigué est influencée par différents régimes hydrologiques et sédimentaires, ou par un changement de la couverture végétale des bancs.

Mots-Clés: biogéomorphologie fluviale, débits environnementaux, dynamique sédimentaire, végétation alluviale, rivière à galets

Rôle des bancs alternés dans le transfert de sédiment par charriage

Blaise Dhont ¹, Christophe Ancey ¹

¹ École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire d'Hydraulique Environnementale (EPFL - LHE) – Station 18, 1015 Lausanne, Suisse (blaise.dhont@epfl.ch)

La dynamique des structures morphologiques dans les rivières de montagne est une des causes souvent évoquées pour expliquer les fluctuations du débit solide couramment observées. La bonne compréhension de la relation qui lie ces deux phénomènes passe par l'étude de mesures conjointes de la topographie du lit et du débit solide. Cependant, l'acquisition de ce type de mesures, à des échelles temporelles et spatiales suffisamment fines, pose encore des problèmes d'implémentation, tant sur le terrain qu'en laboratoire. Notre étude expérimentale s'intéresse au rôle joué par les bancs alternés dans les fluctuations du débit solide par charriage mesurées dans les rivières à lits de gravier. Les expériences sont conduites dans un canal de 16 m de long et 60 cm de large, dont le lit est composé de gravier naturel relativement uniforme. L'originalité de l'étude réside, notamment, dans les hautes résolutions spatiale et temporelle des appareils de mesure utilisés, ainsi que dans la durée des expériences (jusqu'à 600 h).

Le débit solide est mesuré en continu à l'exutoire du canal à l'aide d'accéléromètres montés sur des plaques métalliques verticales enregistrant l'impact des grains emportés par le courant. La hauteur d'eau est mesurée par des sondes ultrasoniques montées sur un charriot roulant surplombant le canal. La topographie est calculée d'après la déformation d'une nappe laser projetée transversalement et à travers l'eau, depuis le charriot, sur la surface du lit. Les mesures topographiques sont effectuées toutes les 10 min et leur précision est de l'ordre du centimètre.

Les résultats obtenus montrent que, dans le cadre des conditions expérimentales, le système de bancs et mouilles présent dans le lit joue un rôle prépondérant dans la génération des pulses sédimentaires mesurés. Les bancs migrent vers l'aval de manière intermittente, produisant ainsi les pulses les plus importants. Lorsque la position des bancs est stable, on observe des pulses d'intensité moindre, résultant du transfert de sédiment, de mouille en mouille, par vagues sédimentaires successives. Ainsi, le système de bancs alternés est vu comme composé de deux entités aux fonctions distinctes : les bancs qui assurent la stabilité du lit, et les mouilles qui assurent le transfert sédimentaire. Notre étude décrit donc comment la dynamique des bancs alternés peut expliquer les fluctuations du débit solide, et offre des pistes de réflexion pour l'amélioration des modèles de transport solide en présence de structures morphologiques de type banc.

Mots-Clés: dynamique des structures morphologiques, bancs alternés, charriage, fluctuations du débit solide

Téledétection par satellite et morphodynamique des rivières à l'échelle du bassin versant

Barbara Belletti ¹, Simone Bizzi ¹, Giulia Marchetti ¹, Patrice Carbonneau ², Claudio Prati ¹, Andrea Castelletti ¹

¹ Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria (DEIB, POLIMI) – Italie
(barbara.belletti@polimi.it)

² Durham University – Royaume-Uni

Depuis quelques années les avancements technologiques en télédétection ont rendu possible la production d'une grande quantité de données pour l'étude des milieux naturels, notamment pour la compréhension du fonctionnement des systèmes fluviaux. Dans ce contexte, le programme Européen Copernicus, un des plus ambitieux programme d'observation et de surveillance de la Terre par satellite, est aujourd'hui en mesure de faire avancer encore plus la compréhension des processus morphodynamiques fluviaux et leur surveillance à large échelle. En particulier, les satellites Sentinel 1 et Sentinel 2, l'un doté d'imageur radar d'ouverture synthétique et l'autre doté d'imageur multi-bandes spectrales, produisent images ayant une résolution spatiale et une fréquence temporelle (respectivement : entre 10 et 20 m et jusqu'à 5 jours) telles de révolutionner la surveillance des rivières majeures à l'échelle du bassin versant et régionale.

Ce travail présente les premiers résultats de l'intégration de données dérivées de Sentinel 1 et 2 pour la caractérisation des classes granulométriques et leur surveillance dans le temps à l'échelle du réseau hydrographique. Pour cela nous avons combiné les données granulométriques obtenues par photogrammétrie d'images drones avec les valeurs d'intensité et d'interférométrie des images radar (Sentinel 1) et les valeurs de réflectance à partir de certaines bandes spectrales dans le domaine du visible et de l'infrarouge (Sentinel 2). Les tests ont été effectués sur le bassin du fleuve PO en Italie.

Les résultats montrent une bonne capacité de discrimination des classes granulométriques pour un D50 entre 10 mm et 110 mm en combinant les données des deux satellites. Les observations sont ainsi cohérentes avec la variabilité naturelle existante associée à la connectivité sédimentaire du système à l'échelle du bassin versant (ex. présence de tributaires, de barrages, etc.). Les données radar semblent aussi capable de détecter les changements morphodynamiques des lits inter- et intra-saisonniers liés aux conditions météorologiques et au développement de la végétation.

La fréquence temporelle de la disponibilité des données de Sentinel 1 et 2 permettra de surveiller la dynamique sédimentaire en termes de changement dans les classes granulométriques à la suite d'événements extrêmes (ex. crues) ou d'aménagements (ex. intervention de restauration). De plus, ces premiers résultats encouragent ainsi l'application de ces données, en particulier les données radar, plus en général pour la surveillance de la morphodynamique des lits fluviaux et de leurs marges.

Mots-Clés: télédétection par satellite, classes granulométriques, morphodynamique des rivières, surveillance, bassin versant

Obtention de modèles numérique de surfaces complets d'une rivière en tresse à partir des données photogrammétrie haute résolution en zone immergées et émergées

Jonathan Coutaz ¹, Fanny Ville ¹, Michal Tal ¹, Jules Fleury ¹

¹ CEREGE – Europôle Méditerranéen de l'Arbois, av. Louis Philibert - BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

La réalisation de modèle numérique topographique et bathymétrique sur de grandes échelles spatiales est une méthode puissante pour la caractérisation de l'évolution morphologique des rivières en tresses mais aussi pour le calcul de flux sédimentaires. Ces modèles nécessitent l'acquisition d'une grande quantité de données, souvent acquises par plusieurs méthodes suivant la présence, ou non, d'eau dans le chenal. L'acquisition de tels jeux de données est en général un processus lourd et coûteux. Une méthode de plus en plus utilisée, pour générer les nuages de points nécessaires, est la photogrammétrie SfM (Structure From Motion) à haute résolution (à partir d'un drone, un ULM...). Cette méthode permet à moindre coût, moyennant un traitement robuste, semi-automatique et une forte puissance de calcul, de caractériser la plaine alluviale sur de grandes distances. Comme pour la plupart des méthodes (i.e., LIDAR, à l'exception du LIDAR vert) le principal défaut de la photogrammétrie est la difficulté d'obtenir des données dans les zones immergées. La solution la plus commune est souvent de se concentrer uniquement sur la création d'un modèle ne prenant en compte que les zones émergées et de négliger le transport dans les zones immergées.

Dans cette étude, le but est de pouvoir générer un MNS complet de notre zone d'étude en utilisant le principe de la réfraction afin d'estimer de façon précise la bathymétrie des chenaux. Les données ont été acquises par un mélange de prises de vue aérienne via ULM sur le Buech (Alpes de Haute-Provence, France) entre 2014 et 2016. Des mesures avec un GPS RTK réalisé en parallèle dans le lit de la rivière ont permis de caler un indice de correction ainsi que de valider le résultat du modèle.

Nous présentons ici les différentes étapes de traitement des données ayant permis l'obtention d'un MNS complet et les incertitudes associées, ainsi qu'une comparaison des flux solide, obtenus par différence des MNS, avec et sans considération des zones immergées

Mots-Clés: photogrammétrie SfM, Modèle numérique de surface, transport sédimentaire

Influence de la dynamique d'une barre forcée en crue sur la survie des ligneux pionniers

Coraline Wintenberger ¹, Stéphane Rodrigues ^{1,2}, Philippe Jugé ³, Jean-Gabriel Bréhéret Marc Villar ⁴

¹ CITERES – 33 allée Ferdinand de Lesseps BP 60449 37204 Tours cedex 3, France
(coraline.wintenberger@univ-tours.fr)

² Ecole Polytechnique Universitaire (Polytech Tours) – 35 allée Ferdinand de Lesseps, 37200 Tours, France

³ CETU ELMIS Ingénieries – Université François Rabelais – 11 quai Danton, 37500 Chinon, France

⁴ AGPF – 2163 Avenue de la Pomme de Pin, 45075 Orléans cedex 2, France

Une étude de terrain a été menée sur la Loire moyenne, rivière sablo-graveleuse de plaine, pour étudier l'influence de la dynamique d'une barre forcée en crue sur la survie des semis de ligneux pionniers (*Populus nigra* et *Salix alba*) la première année d'installation. L'objectif est (i) d'identifier les processus fluviaux (stress) et leur contribution relative conduisant à la mortalité des semis, (ii) déterminer les liens entre la morphodynamique d'une barre forcée et la survie des semis pendant un cycle hydrologique, (iii) mesurer des valeurs seuils de tolérances des semis aux contraintes qu'ils subissent, et (iv) caractériser l'influence des paramètres biologiques sur la survie.

Un suivi à haute résolution temporelle (17 campagnes entre décembre 2012 et juin 2013), réalisé avant l'installation des semis, a permis de caractériser la dynamique de la barre en crue. Elle a été analysée à partir de mesures réalisées en crue (bathymétrie mono- et multi-faisceaux, courantométrie Adcp, prélèvements granulométriques) et à l'étiage (topographie DGPS et scan laser, chaînes d'érosion, prélèvements granulométriques), également réalisées après le recrutement des semis. Le recrutement des semis (étiage 2013) et la survie (étiage 2014) ont été suivis (densité, espèce) sur 48 placettes dont 30 localisées aléatoirement au regard du recrutement, à proximité des mesures caractérisant la morphodynamique de la barre.

Au cours des épisodes de crue, les sédiments sont mis en mouvement, la barre se déforme et s'allonge vers l'aval et une partie des sédiments migrent sur son dos sous forme de dunes superposées. La morphologie de la barre et des dunes évoluent en fonction de l'hydrologie (intensité et phase de crue) qui détermine les conditions hydrauliques et l'apport sédimentaire. Toutefois, les intensités de processus d'érosion-dépôt enregistrées dans la partie centrale de la barre sont moins élevées que sur les marges. Ainsi, deux zones se distinguent, une zone morphologiquement stable et une zone très mobile au cours des épisodes de crue. Un grano-classement amont-aval se développe, accompagné de la formation d'armures dans la partie amont de la barre. Les facteurs de forçage, morphologie en plan et perturbation fixe dans le lit (seuils), participent à la reformation de la barre à la décrue.

Les semis de ligneux pionniers recrutent sur l'ensemble de la barre indépendamment de la granularité des sédiments, des zones stables et mobiles. Les semis subissent trois types de contraintes au cours des épisodes de crue (i) arrachage par la force de traînée, (ii) érosion du substrat de germination et (iii) enfouissement. Pour des crues d'intensité inférieure à la crue biennale, la dynamique spécifique de la barre forcée (zone mobile *vs.* zone stable, granoclasement, armurage) influence la répartition spatiale des contraintes et l'intensité des processus exercées sur les semis. Ainsi, pour ces caractéristiques hydrologiques, la répartition de la survie des semis est en partie expliquée par la dynamique de la barre permettant d'évaluer le potentiel d'évolution morphologique de cette macroforme à l'échelle décennale.

Mots-Clés: barre forcée, ligneux pionniers, rivière sablo, graveleuse

Influence de l'étendue granulométrique sur la morphodynamique de barres alternées libres et hybrides

Florian Cordier ¹, Pablo Tassi ¹, Nicolas Claude ¹, Alessandra Crosato ², Stéphane Rodrigues ³, Damien Pham van Bang ¹

¹ EDF R&D - LNHE / Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant – Chatou, France (florian.cordier@edf.fr)

² IHE Delft and TU Delft – Pays-Bas

Comme souligné par Siviglia & Crosato (2016), la compréhension et la capacité à modéliser l'impact de l'hétérogénéité granulométrique sur la morphodynamique des barres restent à ce jour limitées. Les rivières présentent intrinsèquement un certain degré de variabilité granulométrique pouvant modifier la morphologie des barres à l'échelle macroscopique (Lanzoni, 2000; Nelson et al., 2015). Dans le cadre de cette étude, des modèles numériques morphodynamiques bidimensionnels reproduisant les expériences de laboratoire de Lanzoni (2000) sont exploités afin d'étudier l'influence de l'étendue granulométrique des sédiments sur la morphodynamique de barres.

Les calculs morphodynamiques sont réalisés par le solveur 2D-H du système Telemac Mascaret, couplé avec un module de transport solide et d'évolution de lit. La formule de charriage de Wilcock & Crowe (2003) est utilisée pour estimer les flux de transport de sédiments non-uniformes. Le concept de la couche active proposé par Hirano (1971) est utilisé pour garantir la continuité sédimentaire, où l'archivage sédimentaire (=stratigraphie) est obtenu en discrétisant le substrat en plusieurs couches. Une des expériences de laboratoire réalisée par Lanzoni (2000) sur la formation de barres alternées avec un sédiment non-uniforme est reproduite numériquement. La recirculation de sédiments est implémentée pour reproduire fidèlement les conditions expérimentales. La comparaison de résultats issus d'expériences numériques utilisant différentes étendues granulométriques permet ensuite d'évaluer l'influence de l'hétérogénéité de la taille des sédiments sur la dynamique de barres libres et hybrides. De plus, l'effet du tri granulométrique sur la dynamique des barres libres et hybrides est également étudié. Enfin, l'hydraulique, le transport sédimentaire, les caractéristiques des barres, le tri granulométrique et la stratigraphie sont analysés pour chacun des scénarios simulés.

Les résultats numériques suggèrent que, pour les conditions expérimentales considérées, la non-uniformité des sédiments modifie non seulement les caractéristiques (i.e. longueur d'onde, amplitude et célérité) des barres libres et hybrides, mais aussi le motif du tri granulométrique. De plus, l'augmentation de l'étendue granulométrique tend à augmenter significativement le degré de tri granulométrique. Tandis que le tri granulométrique modifie les caractéristiques des barres libres à un temps donné, les caractéristiques moyennées dans le temps des barres libres se montrent quant à elles inchangées. De manière distincte, le tri granulométrique modifie de manière importante la morphologie des barres hybrides, qui tendent à s'étaler longitudinalement et à décroître en amplitude.

Références :

Hirano, M. (1971). River bed degradation with armoring. PhD thesis, JSCE. Lanzoni, S. (2000). Experiments on bar formation in a straight flume: 2. WRR 36(11). Nelson, P. A. et al. (2015). Coevolution of bed surface patchiness and channel morphology: 2. JGR 120(9):1708–1723. Siviglia, A. & Crosato, A. (2016). Numerical modelling of river morphodynamics. AWR 90:1–9. Wilcock, P. R. & Crowe, J. C. (2003). Surface-based transport model for mixed-size sediment. JHE 129(2):120–128.

Mots-Clés: barres alternées, granulométrie étendue, modélisation 2D

**C1: Gestion des sédiments et
aménagement des cours d'eau;
Altération de la continuité sédimentaire**

Nouveau mode de gestion sédimentaire du Haut-Rhône: bilan de l'abaissement partiel de Verbois 2016

Thomas Pollin ¹, Françoise Abadie ¹, Sylvain Reynaud ¹

¹ Compagnie Nationale du Rhône (CNR), 2 rue André Bonin, 69004 Lyon, France

Le Haut-Rhône, tronçon du fleuve sur 180 km entre Genève et Lyon, est marqué par l'apport sédimentaire conséquent de la rivière Arve. L'accumulation d'une partie de ces matériaux dans la retenue Suisse de Verbois induit un risque accru d'inondation des quartiers bas de Genève. Cette situation amenait le concessionnaire suisse - les Services Industriels de Genève (SIG) - à réaliser des abaissements complets, afin d'évacuer les dépôts par entraînement hydraulique. A l'aval, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) - concessionnaire français, utilisait les vannes du barrage de Génissiat pour maintenir les taux de Matières En Suspension compatibles avec les enjeux fluviaux jusqu'à Lyon et en particulier la fonctionnalité écologique.

Ce mode de gestion n'était pas satisfaisant car il engendrait des impacts environnementaux sévères à l'aval de la retenue suisse et un comblement rapide de Génissiat. Une étude franco-suisse des alternatives envisageables a conduit les SIG à adopter une gestion par abaissements désormais seulement partiels de Verbois et en respectant des taux de MES limités à la frontière. CNR continue d'accompagner les manœuvres suisses par une gestion spécifique de ses ouvrages. L'objectif visé est ambitieux : optimiser le transit sédimentaire et limiter l'engravement des retenues françaises, tout en préservant les différents usages du fleuve.

Le premier abaissement partiel de Verbois accompagné par CNR a été mis en œuvre en mai 2016, avec succès. La présentation du bilan de ces opérations sera notamment l'occasion de revenir sur leur déroulement opérationnel, l'analyse des résultats des multiples suivis menés ou encore les relations avec les parties prenantes.

Les axes développés autour du fil rouge sédimentaire seront ainsi transverses : gestion hydraulique, mesures d'évitement et d'atténuation d'impacts, suivis physico-chimiques / biologiques / naturalistes, bilans massiques des flux et bathymétries, interactions entre parties prenantes ... Les principaux enseignements et des bonnes pratiques capitalisés depuis 30 ans en matière de gestion sédimentaire respectueuse des enjeux du Haut-Rhône seront synthétisés sur la base de ce retour d'expérience. Au travers de ce cas concret, les participants au colloque TSMR seront amenés à échanger et mutualiser leurs connaissances sur le thème de la gestion des retenues soumises à forte sédimentation.

Mots-Clés: sédimentation, Matières en Suspension, retenue, abaissement, hydroélectricité

Evaluation de l'influence des seuils sur la dynamique sédimentaire grossière de cours d'eau de faible énergie. Méthodologie d'approche appliquée à deux cours d'eau normands, l'Orne et la Vire.

Romain Reulier ¹, Anne Julia Rollet ¹, Simon Dufour ¹, Arthur Glais ¹, Candide Lissak ², Damien Carbon ¹

¹ Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG), Université Rennes 2, UMR6554 – France (romain.reulier@unicaen.fr)

² Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG), Université Caen Normandie, UMR6554 – France

Avec la continuité hydrologique et la circulation des espèces, le transport des sédiments (ou transport solide) est une des composantes de la continuité écologique, dont le rétablissement est souvent essentiel pour l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau ainsi que le maintien d'un équilibre morphologique des cours d'eau. Les rivières de Normandie sont ponctuées de nombreux ouvrages (barrages hydroélectriques, anciens moulins, *etc.*) qui constituent autant d'obstacles potentiels à la continuité écologique. L'impact de ces ouvrages sur la circulation piscicole et sur l'hydrologie est relativement bien documenté, mais il existe encore un réel besoin de connaissances quant à leurs conséquences sur le transport des sédiments qui plus est dans des contextes de faible énergie ou d'ouvrages transversaux de taille plus modeste. La grande majorité des études existantes porte en effet sur des contextes de moyenne à forte énergie et en aval d'ouvrages de grande taille (≈ 15 m), contextes dans lesquels les effets morphologiques de l'interruption du transfert sédimentaire sont assez clairs.

C'est dans ce contexte qu'une étude vient d'être lancée en Normandie en vue d'apporter des connaissances spécifiques au cours d'eau de faible énergie tel qu'on les rencontre dans le Nord-Ouest de la France. L'Orne et la Vire, deux rivières armoricaines des Bocages Normands, ont ainsi été choisies pour ce travail. Pour évaluer l'impact des seuils sur la dynamique sédimentaire grossière et sur l'hydromorphologie une double approche est proposée. La première repose sur une analyse morphologique semi-quantitative alliant expertise de terrain (identification des déséquilibres sédimentaires, mise en évidence des anomalies morphologiques, indices de morphodynamisme, *etc.*) et géomatique (cartographie des berges d'érosion, des zones d'accumulation sédimentaire, calcul d'indice de sinuosité, *etc.*) à différentes échelles (de l'ouvrage au tronçon entier). La seconde est basée sur le traçage de sédiments grossiers (taille comprise entre 32 et 128 mm) à l'aide de traceurs Pit-tags. Cette approche quantitative a pour but d'évaluer les impacts de chaque type d'ouvrage sur le transit des sédiments grossiers.

A travers la présentation des deux tronçons étudiés, des différents obstacles à l'écoulement présents, de la méthodologie d'acquisition de données, l'objectif du poster sera d'exposer les premiers résultats de notre approche et de favoriser les échanges et les retours d'expériences avec les participants.

Mots-Clés: continuité sédimentaire, obstacle à l'écoulement, transferts sédimentaires, morphodynamisme

Approche expérimentale pour le suivi de la remobilisation de sédiments déversés à l'aval d'un barrage de haute-chute : le cas de l'ouvrage de Pont de Verrière sur la Fontaulière

Norbert Landon ¹, Oldrich Navratil ¹, Jérôme Lejot ¹

¹ Environnement Ville Société (EVS), UMR5600 – 18 Rue Chevreul 69362 Lyon cedex 07, France

Du fait de conditions topographiques offrant une forte dénivellation, le bassin de l'Ardèche est propice aux aménagements hydrauliques. Ainsi, sur son affluent la Fontaulière, dix-sept ouvrages sont inventoriés (*source : ROE*). Parmi ces ouvrages, l'usine de Montpezat a pour originalité de capter les eaux du cours supérieur de la Loire et de certains de ses affluents afin de produire de l'énergie dans un autre bassin versant, celui de l'Ardèche. Pour réaliser ce projet, trois réserves d'eau sont utilisées : retenue de la Palisse (8,5 Mm³), retenue de Gage (3,4 Mm³) et lac d'Issarlès (35 Mm³). Ces trois réservoirs se situent sur le bassin versant de la Loire. Une conduite souterraine permet de transférer l'eau vers le bassin versant de l'Ardèche au niveau de la Fontaulière. Cet aménagement va, certes, influencer l'hydrologie du bassin versant (environ 220 Mm³/an sont transférés) mais également la dynamique hydro-sédimentaire.

Le barrage de Pont de Veyrières, propriété du SDEA, a été achevé en 1986. L'aménagement est implanté sur la Fontaulière à 1 km en aval de la restitution du canal de fuite de l'usine de Montpezat. Il a été conçu afin d'assurer trois fonction :

- Un soutien de l'étiage à hauteur de 3,75 m³/s pour avoir un débit constant à 30 km du barrage, à Vogüe.
- Une alimentation pour la production d'eau potable par le SEBA (300 L/s et capacité utile de 180 000 m³ entre les côtes de 366,50 et 363,00 m NGF et secondairement pour l'irrigation locale de Meyras (25 L/s).
- Une fonction hydraulique pour tamponner les eaux turbinées de la centrale hydraulique de Montpezat (jusqu'à 20 m³/s).

Le barrage présentant un réservoir de faible capacité (470 000 m³ pour une capacité utile de 180 000 m³, une surface maximale de 10 ha, une longueur de 95 m et une hauteur d'ouvrage de 35 m), la question de l'entretien va très rapidement se poser. Dès 2013, une opération de curage est envisagée afin de redonner de la capacité à l'ouvrage. Près de 40 000 m³ de matériaux sont retirés dans la queue de retenue et les services de l'Etat n'autoriseront l'opération qu'à la condition que 10 000 m³ soient redéposés à l'aval et fassent l'objet d'un suivi inter-annuel. L'objectif est clair : dans un contexte de forte pénurie sédimentaire, la restauration du transit est un enjeu majeur pour le bassin de l'Ardèche.

Le suivi scientifique du projet de recharge de la Fontaulière nous est confié en 2014 par EDF et le SDEA. Trois objectifs sont fixés : faire un état des lieux, assurer le suivi de la charge de fond lors des opérations de recharge (opérées en plusieurs phases) par transpondeurs passifs et suivis hydrométriques (antenne fixe pour PIT-tag, géophones), et évaluer les effets de cette recharge sur les habitats en aval de la zone de déversement par imagerie aérienne. Après une première opération de recharge (1 500 m³), plusieurs suivis ont été réalisés et les premiers résultats peuvent être présentés avec toute la démarche méthodologique et le dispositif technique.

Mots-Clés: Recharge sédimentaire, transpondeurs passifs, barrage, hydraulique, restauration

Impact des opérations de remodelage des épis sur la dynamique sédimentaire en Loire

Timothée Handfus ¹, Stéphane Rodrigues ^{2,3}, Philippe Jugé ¹, Emmanuel Guillot ⁴

¹ CETU ELMIS Ingénieries – Université François Rabelais – 11 quai Danton, 37500 Chinon, France

² CITERES (CItés, TERitoires, Environnement et Sociétés) – 33 allée Ferdinand de Lesseps BP 60449 37204 Tours cedex 3, France

³ Ecole Polytechnique Universitaire de Tours – 64 Avenue Jean Portalis, 37200 Tours, France

⁴ VNF – 10 bd Gaston Serpette, BP 53606, 44036 Nantes cedex 01, France

La Loire aval est contrainte par de nombreux ouvrages initialement destinés à faciliter la navigation commerciale par périodes de basses eaux. Ils ont eu un fort impact sur la dynamique hydro-sédimentaire du fleuve en engendrant une morphologie asymétrique (stockage au sein des champs d'épis, incision du chenal principal). Les conséquences se soldent par le piégeage d'une partie de la charge sédimentaire et d'une diminution de la mobilité latérale, par la végétalisation du lit et l'augmentation du risque inondation en crue.

Le premier secteur aménagé sur la Loire vers 1905, est localisé entre Bouchemaine et Chalonnes/Loire (49). Il est également le premier, où les épis ont été remodelés à titre expérimental en 2009 en vue de "décorseter" le fleuve et de remanier les stocks sédimentaires latéraux. Sur ce secteur long de 10 km, 105 épis, ont été abaissés et parfois raccourcis. L'objectif vise le relèvement des fonds pour les étiages mais sans effet à partir du module ($Q = 850 \text{ m}^3/\text{s}$ à Montjean/Loire). Le stock sédimentaire piégé est estimé à 3,5 millions de m^3 .

Le suivi scientifique associé à cette opération a duré 5 ans et s'est basé sur un ensemble de données topo-bathymétriques, LiDar aéroporté, hydrauliques (lignes d'eau, jaugeages aDcp), de chaînes d'érosion et de granulométrie. Les principaux enseignements du suivi indiquent le relèvement de la ligne d'eau d'étiage sévère à court terme principalement sur la partie amont du secteur et une absence d'effet des travaux sur la ligne d'eau à partir du module. La réponse morphologique s'est opérée en 2 phases : les années 1 à 3 caractérisées par une hydrologie plutôt calme et les années 4 et 5 au cours desquelles des crues importantes sont survenues. La première phase (surtout la première année) fut une année d'adaptation rapide des grèves aux nouvelles conditions hydrauliques, morpho-sédimentaires qui s'est traduite par une érosion généralisée de celles-ci.

Les crues importantes de la seconde phase ont fortement remanié la topographie générale du site. La première crue a impacté les grèves dans la continuité des années précédentes. La seconde a surtout eu une influence sur les parties aval. Ceci montre que l'adaptation morphologique du lit aux travaux dans le cadre de grands systèmes sablo-graveleux est influencée dans le cas présent par deux paramètres :

- la proximité temporelle entre les travaux et le premier suivi (réponse instantanée);
- l'hydrologie et plus particulièrement les épisodes de crues.

Les résultats de l'étude soulèvent des questions d'intérêt majeur pour la gestion/restauration de la continuité sédimentaire du lit de la Loire ; la déconstruction des épis étant un levier opérationnel impliqué dans les plans de gestion sédimentaire du fleuve.

Mots-Clés: expérimentation, ouvrages : stock sédimentaire, restauration, gestion

Le transit des sédiments grossiers du Rhône: Cas de l'entretien de la Drôme

Sylvain Reynaud ¹, Remi Taisant ¹

¹ Compagnie Nationale du Rhône (CNR) – 2 rue André Bonin, 69004 Lyon, France

La mise en place d'aménagements hydroélectriques sur le Rhône a nécessité de créer une succession de chutes en rehaussant jusqu'à une dizaine de mètres les niveaux d'eau hors période de crue. En aval de Lyon, cette réhausse des niveaux modifie peu le transit des sédiments fins (les vitesses restent suffisantes pour assurer un transport solide de ces particules). C'est ce que l'on observe sur l'historique des campagnes bathymétriques disponibles. Par contre là où le Rhône déplaçait avant aménagement CNR 100 j/an les sédiments grossiers (graviers/galets), cette fréquence n'est plus aujourd'hui que de 1 j/an (voir Etude Globale du Rhône). La situation hydromorphologique du Rhône avant aménagement CNR (fin 1ère moitié XXème siècle) était la suivante concernant les sédiments grossiers ; Soit les tronçons étaient en incision comme le Vieux Rhône de Chautagne, soit pavés sur la majorité du linéaire entre Lyon et Avignon du fait de la chenalisation par les épis Girardon fin XIXème. Ces états résultaient d'un déficit sédimentaire généralisé principalement lié aux reboisements en montagne lancés dès le XIX siècle, le début des extractions massives de granulat après guerre dans les affluents et le Rhône, la création de barrages sur le bassin versant. Ainsi après la construction des chutes hydro-électrique par CNR durant la deuxième moitié du XXème, la réduction par 100 de la capacité de transport des sédiments grossier du Rhône n'a pas posé de problèmes d'envergure à la CNR, car il n'y avait plus d'arrivée de sédiments grossiers au Rhône, sauf point particulier. Avec l'arrêt des extractions en rivière en 1992 et l'obligation de transparence des ouvrages vis-à-vis des sédiments, on peut s'attendre à nouveau à l'arrivée de sédiments grossiers dans le Rhône. C'est ce que l'on observe déjà à la confluence de l'Ain et de la Drôme par exemple.

Concernant la confluence de la Drôme, l'aménagement hydro-électrique de Logis Neuf sur le Rhône a rehaussé la ligne d'eau en hors période de crue de 6m environ. Dès la conception de cet aménagement, un piège à gravier a été conçu pour arrêter les sédiments juste en amont de la confluence, pour ne pas " boucher " le Rhône. Ce piège étant plein en 2016, il a nécessité son entretien. Le devenir des 400 000 m³ de sédiments grossiers de la Drôme s'est donc posé. Plusieurs solutions ont été étudiées :

- la restitution dans la retenue de Logis Neuf au droit de la plaine inondable de Printegarde,
- la restitution dans les vieux Rhône compris entre Valence et Donzère,
- la valorisation écologique pour une restauration de tronçon de Drôme en amont du chantier,
- la valorisation dans la filière BTP.

L'objet de la présentation détaillera ces diverses solutions, leur avantages/inconvénients et solutions finalement autorisées par l'administration.

Mots-Clés: Drôme, sédiments grossier, Rhône, autorisation, ouvrages

**C2: Gestion des sédiments et
aménagement des cours d'eau; Dépôts
sédimentaires potentiellement
contaminés**

Suivi à large échelle spatiale et temporelle du transit des éléments granulométriques fins dans la Garonne amont

Nicolas Mengin ¹, Rémi Loire , Julia Marion , Hervé Liebig

¹ ECCEL Environnement – EDF – 8, avenue de Lavour – 31590 Verfeil, France
(nicolas.mengin@eccel-environnement.fr)

La retenue de Plan d’Arem sur la Garonne (31), en voie de comblement depuis plus d’une décennie, a vu sa capacité de stockage considérablement diminuée par la crue de juin 2013. Un curage a été réalisé en 2014 pour garantir la sécurité en crue et recouvrer un volume minimum pour l’exploitation hydroélectrique. Ces travaux ont été encadrés par plusieurs protocoles environnementaux classiques, souvent stationnels, sur les paramètres hydromorphologiques, physico-chimiques et hydrobiologiques. Dans ce contexte, EDF a jugé opportun de lancer un suivi à long terme du transit des éléments granulométriques au sein de la Garonne. La mission devait permettre :

- d’explorer un périmètre environnemental plus vaste qu’avec les protocoles classiques, localisés sur un site d’échelle restreinte, sur un zonage réellement en rapport avec l’emprise de l’impact potentiel de la retenue;
- d’établir un diagnostic de transit des éléments granulométriques fins, en lien avec le contexte morphodynamique, l’hydrologie naturelle, la portée de l’épisode de 2013 dont les traces de dépôts/remobilisations, et la gestion des aménagements du secteur;
- de déterminer quel pourrait être, à cette échelle, le poids de ces éléments fins dans la réponse biologique et particulièrement dans la reproduction des salmonidés.

ECCEL Environnement, en collaboration avec EDF-CIH, a proposé et mis en place le protocole SABline, méthodologie interne de suivi des éléments fins sur un long linéaire de la Garonne (50 km de part et d’autre de l’ouvrage). Il a été conçu sur la base de protocoles standardisés existants et reconnus, mais simplifiés pour rester dans un coût raisonnable sur une telle échelle. Il est basé sur l’application, dans les zones de frayères potentielles, d’une expertise du colmatage superficiel (protocole Archambaud), d’une analyse de la granulométrie fine dans la masse (par pesées différenciées des classes), d’une mesure de la conductivité hydraulique (dérivée de la méthodologie Datry) et, en complément, d’une analyse photogrammétrique des éléments déposés sur les bancs. Toutes ces expertises sont replacées dans une contextualisation globale des caractéristiques typologiques et influencées du réseau hydrographique. Postérieurement à l’opération de curage, trois campagnes ont déjà été réalisées (deux en étiage estival 2014 et 2015, une en étiage hivernal 2016). Les expertises ont pu mettre en évidence, outre un rôle apparent lié aux affluents et une influence considérable de la Garonne espagnole, une certaine emprise spatio-temporelle du colmatage superficiel, en progression vers l’aval sur certains secteurs. On n’observe pas la même tendance pour la conductivité hydraulique, analysée via un protocole dont la compréhension mesure/impact est encore en voie de développement. Ce transit ” par vagues ” des éléments fins n’a pas été confirmé par l’analyse de granulométrie dans la masse ou via les observations effectuées sur les bordures marginales du cours d’eau. Ces investigations exploratoires en matière d’hydromorphologie commencent toutefois à apporter des enseignements sur l’évolution à moyen terme de la fonctionnalité des habitats les plus fragiles (frayères). Elles présentent l’avantage de couvrir un périmètre adapté à ce type de suivi mais demandent des analyses comparatives plus poussées dans la durée et en lien avec les expertises stationnelles.

Mots-Clés: SABline, Garonne, plan d’Arem, large échelle, long terme

Reconstruction des contaminations historiques métalliques et organiques (HAPs, PCBs, Pesticides Organochlorés) dans les sédiments d'une annexe hydraulique du bassin versant de l'Eure

Thomas Gardes ^{1,2}, Edouard Patault ², Maxime Debret ², Yoann Copard ², Julien Deloffre ², Stéphane Marcotte ³, Anne-Lise Develle ⁴, Pierre Sabatier ⁴, Eric Chaumillon ⁵, Yan Laberdesque ^{1,2}, Florence Portet-Koltalo ¹

¹ COBRA – 55 rue St-Germain, 27000 Evreux ² M2C – 3 place Blondel, 76821 Mont-St-Aignan cedex ³ INSA de Rouen – av. de l'université, 76800 St-Etienne-du-Rouvray ⁴ EDYTEM – Campus scientifique, 73376 Le-Bourget-du-Lac cedex ⁵ LIENSs – 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

Le barrage de Martot, situé sur l'Eure va être détruit dans le but de restaurer la continuité écologique. A ce jour, l'impact de l'arasement des petites structures reste peu étudié. Le but de cette étude est de (i) caractériser la variabilité et l'origine des transferts hydro-sédimentaires, (ii) de déterminer l'histoire, depuis le siècle dernier, des pollutions émises à travers le bassin versant de l'Eure en analysant les sédiments accumulés dans l'étang de Martot en amont du barrage et (iii) de prédire les risques de l'arasement du barrage. Les transferts sédimentaires actuels sont estimés grâce à un réseau de mesure haute-fréquence mis en place sur deux sites, tandis que les transferts passés sont reconstruits en analysant les archives sédimentaires accumulées dans l'étang de Martot. L'analyse des transferts hydro-sédimentaires actuels montre d'importantes variabilités des flux d'eau et de sédiments dont les principales causes sont les précipitations, le niveau d'eau et les cycles de marées de l'estuaire de la Seine. Les analyses sédimentologiques (analyses macroscopiques, spectrophotométrie, susceptibilité magnétique...) des archives sédimentaires montrent deux faciès hétérogènes. Ce changement de faciès daterait de 1942 selon la datation par radionucléides. Ce changement est relatif aux grands travaux effectués sur la Seine, ayant conduit à un changement d'apports, l'étang de Martot étant d'abord connecté à la Seine puis à l'Eure. Aussi, il apparaît que la sédimentation dans l'étang est restée la même depuis les années 1940, suggérant un lien évident entre la profondeur du sédiment et l'année de contamination. Les données obtenues par XRF Core Scanner permettant de comparer des différents niveaux de pollutions métalliques sans connaître les valeurs de concentrations, d'autres méthodes ont été utilisées pour quantifier les contaminants métalliques, mais également organiques, emmagasinés dans l'étang de Martot avant et après 1942. Des extractions ou des digestions par micro-ondes ont été effectuées. L'analyse des contaminants organiques (HAP, PCB, Pesticides organochlorés) a été réalisée par GC-MS, tandis que l'analyse des métaux a été faite par ICP-OES. Les résultats montrent que les fractions les plus polluées correspondent au signal de l'Eure. Cependant, selon les contaminants étudiés, les années de pollutions diffèrent. En effet, une majorité des contaminations enregistrées datent des années 1950 et de la reprise économique suivant la 2^{de} guerre mondiale, tandis qu'une pollution au Plomb est retrouvée dans la partie haute des archives sédimentaires. D'autres contaminants, comme les PCBs ou le Lindane, présentent des pics ponctuels de pollutions, en dehors de leurs périodes de commercialisation. En conclusion, l'étang de Martot peut expliquer l'impact anthropique sur le bassin versant de l'Eure depuis 1942. Cependant, il est possible que l'arasement du barrage provoque des changements importants sur les transferts hydro-sédimentaires de l'Eure. Les contaminants adsorbés sur les sédiments pourraient alors être remobilisés dans la rivière. De ce fait, il est nécessaire d'évaluer le stock global de contaminants de l'étang de Martot ainsi que la dynamique sédimentaire et le risque de contamination de l'Eure après l'arasement du barrage.

Mots-Clés: barrage, Eure, archives sédimentaires, contaminants organiques et métalliques

Simulation des dépôts dans un garage à bateaux : influence des paramètres de la recirculation

André Paquier ¹, Yassine Kaddi ¹, Violaine Dugué ², Benoît Camenen ¹, Jérôme Le Coz ¹

¹ Irstea, UR HHLY, centre de Lyon-Villeurbanne – 5 rue de la Doua - CS 20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France (andre.paquier@irstea.fr)

² Compagnie Nationale du Rhône (CNR) – Lyon, France

Pour nombre d'aménagements le long du Rhône, l'usine hydroélectrique est installée sur un bras dérivé (canal usinier) qui est aussi utilisé pour la navigation. Dans les garages à bateaux en amont et en aval de l'écluse, les faibles vitesses favorisent la sédimentation des sédiments. Afin d'estimer avant travaux l'efficacité de dispositions visant à limiter les dépôts, une modélisation numérique 2D du transport de sédiments a été effectuée. Deux catégories de paramètres ont une forte influence sur les résultats en termes de dépôts : les paramètres propres aux sédiments et les paramètres du modèle hydrodynamique qui contrôlent la position et les dimensions des recirculations qui se forment dans les eaux de faible vitesse. Ces derniers paramètres sont les caractéristiques du maillage, les détails topographiques et le coefficient de diffusion. Pour illustrer la variabilité des résultats obtenus et donc la nécessité d'effectuer un calage sur un large éventail d'observations, l'exemple de l'aménagement de Chautagne est traité. Sur cet exemple, des relevés de vitesse par ADCP permettent de préciser la position des recirculations principales ; en outre, des relevés bathymétriques à différentes dates permettent de localiser les dépôts à l'intérieur des garages à bateaux. Les simulations sont effectuées avec le logiciel Rubar20TS. Malgré une taille de maille assez faible (de l'ordre de 2 m) dans la zone d'échanges entre le garage à bateaux et le canal usinier, il apparaît que la forme des mailles (quadrilatère ou triangle) influence fortement les résultats pour une même valeur du coefficient de diffusion ; ceci est à rapprocher de la forte influence des détails topographiques que ce soit à la jonction entre le canal usinier et le garage à bateaux ou à l'intérieur même du garage à bateaux. L'optimisation des dimensions de la recirculation et de l'intensité des échanges à l'aide du coefficient de diffusion est un résultat plus usuel ; sur cet exemple, le choix d'un coefficient constant et uniforme de $0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ semble optimal. Le calcul des dépôts de sédiments confirme l'importance du calage de ce coefficient pour bien représenter la sédimentation dans le garage à bateaux.

Mots-Clés: MES, dépôts, cavité, modélisation numérique 2D

**C3: Gestion des sédiments et
aménagement des cours d'eau;
Restauration physique des rivières**

Evolution morphologique d'une zone de frayère artificielle : Suivi in situ et modélisation hydrosédimentaire

Magali Jodeau ¹, Anne-Laure Besnier ¹, François Vandewalle ²

¹ Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement (LNHE), EDF R&D – 6 quai Watier, 78401 Chatou Cedex, France (magali.jodeau@edf.fr)

² Etudes et Conseils en Gestion de l'Environnement Aquatique (ECOGEA) – France

Pour respecter les exigences de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), déclinée en droit français dans la LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques), imposant de restaurer la continuité piscicole et sédimentaire des cours d'eau, des opérations de réinjection sédimentaire sont réalisées en aval de certains ouvrages EDF. Ces réinjections peuvent prendre différentes formes (nappes, talus...). Il existe aujourd'hui peu d'outils pour dimensionner ces opérations. Plusieurs opérations de ré-injection sédimentaires ont été suivies par EDF afin d'évaluer et d'adapter, les codes numériques comme outil de prédiction. Un des sites suivis est localisé sur la Maronne, affluent de la Dordogne, en aval du barrage de Hauteffage. EDF, en accord avec l'ONEMA, MIGADO (association pour la restauration et la gestion des poissons migrateurs sur le bassin de la Garonne et de la Dordogne), EPIDOR (Etablissement Public Territorial du Bassin de la Dordogne) et la Fédération de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique 19, s'est proposé d'améliorer l'habitat de reproduction des salmonidés sur cette partie de la rivière. Afin de pallier au déficit d'une granulométrie favorable à la fraie en aval du barrage de Hauteffage, des réinjections sédimentaires de la granulométrie adéquate ont été réalisées.

L'objectif des réinjections sédimentaires sur la Maronne étant de restaurer des zones favorables à la fraie des saumons, les sites ont été préalablement choisis pour leur stabilité lors des épisodes de crue. Sur le site suivi par le bureau d'étude Ecogea pour le LNHE, l'injection a été réalisée en octobre 2014 sous forme de nappe 400m² et de 35cm d'épaisseur.

Trois épisodes de crue ont eu lieu en 2016 et ont entraîné un mouvement des sédiments injectés. Les suivis de terrain (relevés topographiques et galets marqués par pit-tags) montrent une érosion modérée dans la zone d'injection (27% en volume) et un déplacement sur 50 m environ vers l'aval. Des mesures en crue de vitesses de surface par imagerie (LSPIV) complètent le jeu de données.

Un modèle hydrosédimentaire Telemac2D-Sisyphe a été calé puis utilisé pour simuler le mouvement des sédiments de la nappe injectée. Les calculs sont réalisés avec une classe de sédiments, les diamètres représentatifs de l'injection sont testés. Les comparaisons des évolutions du fond calculées avec les mesures indiquent que le modèle reproduit bien l'évolution du fond. Les calculs fournissent aussi des indications sur la dynamique temporelle du transport sédimentaire, les périodes d'érosion étant générées par les augmentations de débit. Cet exemple montre que la modélisation hydrosédimentaire Telemac2D-Sisyphe permet de bien rendre compte du mouvement d'une nappe de sédiments injectée. Le code Telemac2D-Sisyphe peut donc être utilisé pour définir les zones d'injection de graviers et leur reprise lors des crues. Le modèle peut aussi être utilisé pour analyser l'évolution des zones favorables en termes d'habitat piscicole.

Mots-Clés: injection, frayère, LSPIV, modélisation, pit, tag

Dimensionnement expérimental de lâchers de dessablage à l'aval de la retenue de Maury sur la Selves

Rémi Loire ^{1,2}, Loic Grospretre ³, Jean-René Malavoi ⁴, Olivier Ortiz ¹ Hervé Piégay ⁵,

¹ EDF-CIH – 15 av. Lac du Bourget, 73373 Le-Bourget-du-Lac ² EVS, UMR5600 – 46 allée d'Italie, 69007 Lyon ³ Dynamique Hydro – 18 av. Charles De Gaulle, 69370 Saint-Didier-au-Mont-d'Or ⁴ EDF (DCEET) – 190 rue Garibaldi, 69003 Lyon ⁵ EVS, UMR5600 – 18 rue Chevreul, 69362 Lyon cedex 07, France

La mise en œuvre d'une gestion environnementale des débits en aval des barrages est encore peu développée en France. Des expérimentations sont nécessaires pour les mettre en œuvre car les objectifs sont multiples. L'un des problèmes concerne notamment l'ensablement des sections à l'aval de réservoirs lorsque celui-ci influence significativement les débits critiques alors que la charge provient des affluents.

C'est le cas de la Selves (164 km² dans le Massif Central) à l'aval de la retenue de Maury (35 millions de m³). L'ouvrage, dont les eaux dérivées, a une influence majeure sur l'hydrologie moyenne et de crue du cours d'eau. Les déversements sont peu fréquents, une seule occurrence depuis la mise en eau du barrage en 1947. Le constat d'ensablement a été partagé entre les gestionnaires du territoire et EDF depuis plusieurs années. Il a donc été décidé conjointement la mise en œuvre de lâchers de dessablage en vue d'améliorer les habitats de refuge et de reproduction pour la population piscicole. Le Tronçon Court-Circuité (TCC) de la Selves en aval du barrage mesure environ 11 km de long. Très encaissé, il reçoit de très nombreux affluents, qui réagissent principalement aux phénomènes orageux au cours desquels ils transportent d'importantes quantités de sables. Du fait de la réduction des débits en aval de l'ouvrage de Maury, la plus grande partie de ces sables s'accumule dans le lit de la Selves.

L'objectif de la présente communication est ainsi de présenter l'expérimentation de dessablage conduite sur cet ouvrage. Les premiers calculs empiriques ont estimé que le débit de mise en mouvement du sable sur la rivière était d'environ une dizaine de m³/s. En dessous de cette valeur, le risque est d'utiliser de l'eau sans effet notable sur la morphologie. 3 tests opérationnels (10, 15 et 20 m³/s pendant 5 h) ont été réalisés en septembre 2016 pour définir le débit permettant de transporter un maximum de sables sans pour autant mobiliser les éléments plus grossiers favorables aux organismes aquatiques. Un suivi physico-chimique de la qualité des eaux a été réalisé pendant toute la durée des lâchers montrant une reprise du stock de sédiments fins présents dans le TCC. Ce suivi a été complété par un suivi par transect sur l'intégralité du TCC sur lequel de nombreuses variables morphologiques ont été récoltées et sur 5 stations permettant de décrire plus précisément l'évolution des secteurs les plus ensablés. Sur l'une des stations, des granules (2-4 mm) fluorescentes ont été injectées afin d'observer les distances parcourues par les particules en fonction des débits lâchés. Sur le tronçon le plus en aval, un suivi par préleveur Helley Smith et hydrophone a été réalisé.

Les résultats soulignent que les débits ont été choisis dans la bonne gamme et permettent même de déterminer le débit optimum pour les futures opérations : un débit légèrement inférieur ou égal à 10 m³/s permet une mobilisation significative des MES et un débit de 15 m³/s permet une mobilisation bien plus significative des éléments sableux. Au-delà de 15 m³/s, même si les risques de mobilisation d'éléments grossiers restent relativement faibles, le coût/bénéfice de cette gamme de débits n'apparaît pas intéressant.

Mots-Clés: barrage, sable, environnemental flow, restauration rivière

Evaluation de l'efficacité probable d'un projet de restauration fonctionnelle et durable du tronçon du Lac des Gaves en aval du bassin versant du Gave de Pau amont - Hautes-Pyrénées

Rabab Yassine ^{1,2}, Hélène Roux ², François Pérès ¹, Ludovic Cassan ², Olivier Frysou ¹

¹ Laboratoire de Génie de Production (LGP) – ENI Tarbes – 47 Avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France
(rabab.yassine@plvg.fr)

² Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT) – 2 Allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse, France

Le Lac des Gaves situé en aval du bassin versant du Gave de Pau amont dans les Hautes-Pyrénées, a été sujet à d'importantes pressions anthropiques au cours du XX^{ème} siècle. En effet, une quantité importante de granulats a été extraite de son lit mineur jusque dans les années 2000 provoquant de sérieux désordres sur ce tronçon. Aujourd'hui, le lac agit comme un piège à sédiments et se retrouve comblé de matériaux ce qui augmente les risques d'avulsion vers les enjeux de la zone. En aval, un déficit important de matériaux est observé avec une incision prononcée du lit provoquant une dégradation des fondations des ouvrages, une rétractation de la bande active, etc. Il apparaît donc nécessaire d'analyser la situation actuelle en proposant des solutions de réaménagement pertinentes et durables prenant en compte le caractère multicritère imposé par cette zone : la sécurité des biens et des personnes, le développement économique de la région et le rétablissement de la continuité écologique et sédimentaire. Les premières réflexions sur la manière d'aborder ce projet de recherche ont très rapidement convergé vers l'importance de la compréhension du bassin versant à travers une étude *in situ* de sa géomorphologie. En effet, bien que la problématique paraisse locale, ce sont les versants situés en amont du Lac des Gaves qui sont à l'origine d'apports de matériaux susceptibles d'être piégés dans ce dernier. Un protocole de suivi de la mobilité sédimentaire sur le terrain a donc été élaboré et appliqué afin d'acquérir des données spécifiques à notre site d'étude. Cette démarche expérimentale a pour objectif de répondre à plusieurs questions que seules des investigations terrain peuvent éclaircir. Il s'agissait initialement d'identifier et de sélectionner les cours d'eau considérés comme étant les plus " actifs " en termes d'activité sédimentaire et de les confronter à un suivi qualitatif à travers l'installation de placettes peintes sur leurs bancs sédimentaires. Cette première étape servira de témoin d'une activité morphodynamique sur les cours d'eau concernés mais elle ne nous permettra pas de nous prononcer sur la nature de cette activité. Ainsi, il semblait évident de compléter cette première partie par un suivi semi-quantitatif qui consistait à relever la topographie au droit des placettes peintes installées en période d'étiage, et de la contrôler post-crue. La superposition des deux topographies permettra d'obtenir des réponses quant au type d'activité sédimentaire s'étant produite. Toutefois, aucune de ces deux premières parties du protocole ne permettent d'obtenir une quantification exacte du débit solide transitant dans les cours d'eau. C'est pourquoi cette démarche expérimentale a été achevée par un suivi quantitatif via la mesure instantanée du débit solide grâce au préleveur à pression différentielle " Helley-Smith " sur les deux principaux affluents amont du Gave de Pau. La mise en place et le suivi du protocole expérimental décrit permettra d'acquérir des données précieuses qui amélioreront les capacités prédictives des modèles numériques qui seront développés dans le cadre de la deuxième partie de cette thèse pour le choix du scénario de restauration le plus pertinent à envisager sur le tronçon du Lac des Gaves.

Mots-Clés: Dysfonctionnements, restauration, transport solide, géomorphologie, protocole expérimental

Restauration d'une rivière en tresses, le Drac dans le Champsaur. Retour d'expérience 3 ans après travaux grâce à l'exploitation de données LIDAR

Frédéric Laval ¹, Romain Gaucher ², Isabelle Chouquet ², Bertrand Breilh ³, Guillaume Brousse ⁴

¹ BURGEAP – 2 rue du Tour de l'Eau, 38400 St-Martin-d'Hères (f.laval@burgeap.fr) ² Département des Hautes Alpes - Service Ressources Naturelles et Risques ³ Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA) ⁴ PRODIG, UMR8586 – 2 rue Valette, 75005 Paris, France

Des travaux de restauration du Drac ont été réalisés en amont de Saint-Bonnet-en-Champsaur sur un linéaire de 3,6 km suite à une incision très marquée et irréversible d'un lit mineur qui était à l'origine en tresses. Ce phénomène, qui menaçait les nombreux enjeux socio-économiques riverains, était la conséquence d'extractions historiques en sédiments, du passage successifs de crues majeures (dont 2006 et 2008), et de la présence d'un substratum marno-argileux tendre favorisant l'incision du chenal principal. Les travaux ont consisté à restaurer la largeur plein bord du le lit du Drac (environ 80 à 200 m), à recharger le fond du lit de 3 m en moyenne et à donner une pente moyenne du profil en long de 1%, de façon à retrouver le Drac de 1960. Ces travaux ont été réceptionnés en Avril 2014 et ont nécessité le terrassement de 355 000 m³ dans les anciennes terrasses alluviales, avec de nombreuses mesures de restauration des milieux naturels (zones humides, corridors). Toutefois, la restauration du faciès de lit en tresses, principal enjeu écologique de l'opération, n'a pas fait l'objet de modelages spécifiques par les engins de travaux : le principe a consisté à créer un lit très évasé (seulement 0,40 m de profondeur entre le thalweg et les marges), légèrement sinueux, et à laisser la dynamique de la rivière reconstituer les formes typiques du lit en tresses (bancs, chenaux d'étiage, bras secondaires, etc.) au fil des crues morphogènes.

Après quelques crues de périodes de retour 2 à 3 ans (novembre 2014 et septembre 2015), le faciès de lit en tresses se met petit à petit en place à la faveur de plusieurs facteurs : les pentes locales (la pente projetée de 1% ayant dû être adaptée localement lors des travaux), la largeur pleins bords du lit (80 à 200 m), et les apports sédimentaires provenant de l'amont. On constate également un abaissement du matelas alluvial au sein de la bande active de l'ordre de 0,30 m correspondant au lessivage et à l'entraînement vers l'aval des éléments fins ; cet abaissement participe à la formation des lits d'étiage dont la profondeur moyenne attendue par rapport aux bancs est de 0,80 m.

Le site a pu bénéficier d'une excellente fréquence de levés topographiques par LIDAR aériens (2011, 2013, 2014, 2015 et, depuis peu, septembre 2016), ce qui permet d'encadrer chaque crue morphogène. Combinés avec des profils en travers terrestres de suivi, les LIDAR permettent de comprendre et de quantifier les phénomènes en cours et d'anticiper les évolutions.

La présentation consistera à restituer le travail mené en 2016 pour le Département des Hautes-Alpes sur la base du LIDAR de septembre 2015. Ces résultats seront complétés par les premiers résultats d'une étude en cours menée pour la CLEDA sur la base du LIDAR de 2016. Ces résultats préfigurent les études hydroécomorphologiques et écosystémiques qui seront menées ces prochaines années dans le cadre du Programme Espace Alpin HyMoCARES par l'Irstea (Frédéric Liébault) et le Département des Hautes-Alpes (Romain Gaucher), ainsi que par l'Université Paris-Diderot (thèse de Guillaume Brousse).

Mots-Clés : Drac, vallée du Champsaur, incision, restauration d'un lit en tresses, recharge sédimentaire, restauration hydromorphologique, substratum argileux, LIDAR.

Gestion du transit des sédiments et restauration de carrières alluviales dans un environnement contraint par des barrages de haute-chute : le cas des gravières de Jeurre et Lavancia-Epercy dans le PNR du Haut Jura

Norbert Landon ¹

¹ Environnement Ville Société (EVS), UMR5600 – 18 Rue Chevreul 69362 Lyon cedex 07, France

Le PNR du Haut-Jura assure l'entretien des cours d'eau et des zones humides sur la majeure partie de son territoire depuis bientôt 20 ans. Très engagé dans la réhabilitation, il intervient depuis peu sur les communes de Jeurre et de Lavancia-Epercy où une activité d'extraction de granulats s'est développée dans le lit mineur puis majeur de la Bienne. Les activités d'extraction ont débuté dans les années 1960, d'abord en lit mineur, puis en lit majeur, et s'est terminée en 2010. Classiquement, des digues ont été édifiées au cours des extractions pour éviter une communication de la Bienne avec les fosses d'extraction.

À l'issue de l'exploitation, des travaux permettant de renaturer les fosses d'extraction ont été réalisés à minima mais le site n'a jamais réellement été remis en état et l'espace de bon fonctionnement de la Bienne n'a pas été restauré malgré des préconisations déjà anciennes (Bravard *et al.*, 1998, Landon *et al.*, 2000).

Le PNR a lancé en 2016 une étude visant d'une part à réactualiser l'état hydro-géomorphologique de la basse Bienne, de déterminer l'état écologique des zones concernées par les anciennes gravières, et d'autre part à définir un mode de restauration original de ces zones à fort potentiel écologique. Les études ont été confiées à l'Université Lyon 2 et aux laboratoires (UMR5600-EVS et l'UMR5023-LEHNA). Alliant approches hydrauliques (modèles 1D-2D), suivis hydrologiques, hydro-géomorphologiques (diagnostic, analyses granulométriques, topométries LiDAR et bathymétrie), inventaires biologiques (IBG et autres), enquêtes auprès de la population et entretiens avec décideurs, la démarche est complète et vise la définition de plusieurs scénarios parmi lesquels les partenaires du PNR et celui-ci ont choisi le niveau d'ambition le plus élevé malgré les contraintes.

En effet, dans un contexte de basse vallée à faible potentiel de charge alluviale, limitée en amont par le barrage d'Etables (Saint-Claude) et confluant à l'aval avec la rivière d'Ain, dans le barrage de Coiselet, la restauration de ces gravières ne pouvait pas être envisagée sans tenir compte de cette contrainte forte. Le barrage amont d'Etables, mis en service en 1932, contrôle toute la transmission vers l'aval de la recharge alluviale venant des rares zones d'érosion actives en tête de bassin. À l'exutoire, 25 km en aval, l'effet hydraulique lié au réservoir de Coiselet se fait ressentir jusqu'à 6 km en amont de la confluence naturelle. Outre la zone de remous au droit du site d'extraction de Lavancia-Epercy, l'aménagement a généré un risque accru d'inondation du village de Dortan situé face au site d'extraction de Lavancia.

La définition du projet devait à la fois tenir compte de la faiblesse des apports amont, non nuls depuis le comblement du réservoir d'Etables, et de la zone de remous impliquant un dépôt préférentiel de la charge de fond de la Bienne. Malgré ces limites, le projet de restauration a été défini dans l'esprit de la loi GEMAPI du 27 janvier 2014, conciliant enjeu inondation et bon fonctionnement des cours d'eau.

Nous proposons de présenter la démarche, les scénarios retenus et le dispositif de suivi pré et post travaux.

Mots-Clés: Restauration, gravières, barrages, zones humides, GEMAPI

Impacts d'actions de restauration géomorphologique du Vieux Rhin à l'aval de Bâle (France, Allemagne)

Valentin Chardon ^{1,2}, Laurent Schmitt ¹, Hervé Piégay ², Jérôme Houssier ¹, Jordane Serouilou ¹, Grzegorz Skupinski ¹, Anne Clutier ³

¹ Laboratoire Image, Ville, Environnement (LIVE), UMR7362 – 3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France
(valentin.chardon@live-cnrs.unistra.fr)

² Environnement Ville Société (EVS), UMR5600 – 18 rue Chevreul, 69362 Lyon cedex 07, France

³ Centre d'Ingénierie Hydraulique (EDF-CIH) – 15 av. Lac du Bourget, 73373 Bourget-du-Lac, France

Le Vieux Rhin est un chenal court-circuité de 50 kilomètres à l'aval du barrage de dérivation de Kembs. Il a été fortement impacté par divers aménagements depuis le XIX^{ème} siècle visant la protection contre les crues, le développement de la navigation et la production d'hydro-électricité. Une part importante du débit (jusqu'à 1 400 m³/s) est dérivée dans le Grand Canal d'Alsace, équipé de quatre centrales hydro-électriques. Ce chenal présente des fonctionnalités écologiques qui ont été affectées par les ajustements hydro-géomorphologiques résultant de ces aménagements (rétractation, incision et fixation du lit, formation d'un pavage, simplification des formes fluviales...). Dans le cadre de la nouvelle concession de l'usine hydro-électrique de Kembs (2010), électricité de France a augmenté le débit réservé de 20-30 m³/s à 52-150 m³/s. En complément, cinq actions de restauration géomorphologique ont été entreprises afin d'améliorer la dynamique morfo-sédimentaire du Vieux Rhin et diversifier les habitats : deux injections sédimentaires artificielles (18 000 m³ et 30 000 m³) et trois actions d'érosion maîtrisée de berge par déroctage (linéaire de 300 m chacun).

Un suivi géomorphologique est effectué pour évaluer les effets des restaurations en termes d'efficacité et de durabilité grâce à des indicateurs morfo-sédimentaires (un suivi hydro-écologique est mené en parallèle). Il repose notamment sur le suivi de la charge de fond, les évolutions granulométriques et topo-bathymétriques.

Les premiers résultats, qui portent sur les deux recharges sédimentaires et une érosion maîtrisée de berge, montrent que : (1) la mobilisation des sédiments injectés peut se produire dès une crue biennale, mais qu'elle est aussi fonction des conditions locales de mise en place des cordons sédimentaires, (2) les vagues sédimentaires transitent majoritairement au centre du chenal, sur des distances de plusieurs centaines de mètres selon l'intensité et la durée des crues, (3) la diversification granulométrique et morphologique est relativement limitée à l'aval des injections sédimentaires, contrairement au site d'érosion maîtrisée, mais dans ce dernier cas l'hétérogénéité est accentuée par la présence d'épis transversaux, (4) les volumes sédimentaires injectés dans le chenal par érosion maîtrisée de berge sont relativement faibles en raison notamment de la présence en berge de blocs d'enrochement enfouis hérités d'aménagements anciens. L'ensemble des résultats apporte d'ores et déjà au gestionnaire un précieux retour d'expérience qui permet d'améliorer l'efficacité et la durabilité de futures actions de restauration géomorphologique. Ce retour d'expérience, dont certains éléments peuvent être transposés à d'autres cours d'eau court-circuités, sera enrichi par la poursuite à moyen terme du suivi géomorphologique.

Mots-Clés: restauration physique, recharge sédimentaire, érosion maîtrisée de berge, suivi géomorphologique, traçage sédimentaire, analyse granulométrique, LiDAR aéroporté et terrestre

Maintenir l'équilibre du budget sédimentaire des fleuves: premiers retours d'une expérimentation en cours sur le Vieux Rhône de Chautagne

Thierry Fretaud ¹, Carole Wirz ¹, Christophe Peteuil ¹

¹ Compagnie Nationale du Rhône (CNR) – 2 rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04, France
(t.fretaud@cnr.tm.fr)

Fin 2016, 15 000 m³ de graviers et de galets extraits dans le cadre des travaux de confortement du barrage de Seyssel ont été réinjectés dans le Vieux-Rhône de Chautagne à l'aval du barrage de Motz. Le but de cette opération est de maintenir l'équilibre du budget sédimentaire du fleuve, tout en améliorant la qualité des habitats aquatiques d'une zone déficitaire par l'introduction de substrats diversifiés. Cette opération s'inscrit également dans une démarche volontaire de CNR d'établir un protocole répliquable sur d'autres sites, d'orienter de manière éclairée les stratégies de restauration des habitats aquatiques et de formuler des recommandations opérationnelles sur le type de suivi à mettre en œuvre en fonction des volumes, des enjeux et des coûts.

Dans cette perspective, une évaluation préliminaire de la capacité de remobilisation effective du Vieux-Rhône était requise pour déterminer, en fonction des contraintes techniques, environnementales et financières, le site et les protocoles de réinjection les plus adaptés. Deux approches ont été menées en parallèle : une approche calculatoire combinant les résultats d'un modèle mathématique 1D à la courbe de Shields et une approche expérimentale consistant à suivre in-situ la remobilisation de particules de 10 à 100 mm de diamètre disposées sur un banc émergé. Le déplacement des grains a été caractérisé en utilisant des traceurs RFID et en suivant des placettes peintes, de manière à balayer toute la gamme de sédiments réinjectée ultérieurement. Le suivi a concerné trois transects du Vieux-Rhône de Chautagne le long desquels ont été positionnés plusieurs sites témoins répartis selon des paliers verticaux d'environ 50 cm et incluant à chaque fois quatre placettes de granulométries différentes. Les mesures effectuées sur ce banc émergé ont permis de collecter des informations essentielles sur le comportement prévisible des sédiments à réinjecter. En particulier, une mise en mouvement a été observé pour des contraintes critiques comprises entre 9 et 12 N/m², c'est-à-dire sous des conditions finalement moins vigoureuses qu'envisagées théoriquement. D'autre part, des distances de parcours allant de 20 à 100 m ont été observées pour un débit de 640 m³/s, cette distance étant par ailleurs inversement proportionnelle à la taille du grain. Une certaine équi-mobilité des particules a également été constatée, des grains de taille très différente se déplaçant ensemble sous l'effet de mêmes contraintes. Enfin, les deux méthodes testées conduisent à des taux de retour très similaires d'environ 70% et les différents avantages et inconvénient de ces techniques complémentaires sont maintenant mieux cernés.

Ces expérimentations ont confirmé la faisabilité de l'opération et ont été poursuivies après réinjection. Un suivi post-travaux a été mis en place en concertation avec les parties prenantes, afin d'évaluer les conditions effectives de remobilisation (distance parcourue, volume évacué, débit critique...) ainsi que les impacts et gains environnementaux avérés. Le suivi de cette réinjection repose sur une série de mesures régulières qui seront réalisées jusqu'en 2018 : observation du déplacement de 1000 particules équipées de traceurs RFID, levés bathymétriques, échantillonnage granulométrique, auscultation par caméra sub-aquatique, suivi hydrologique et environnemental.

Mots-Clés: continuité sédimentaire, réinjection sédimentaire, suivi géomorphologique, traceurs RFID

Convergence gestionnaires – chercheurs pour la gestion des grands lits fluviaux : Restauration du lit et trajectoires écologiques, morphologiques et d’usages en Basse Loire

Stéphane Rodrigues ^{1,2}, Coraline Wintenberger ¹, Jules Le Guern ^{1,3}, Timothée Handfus ³, Philippe Jugé ³

¹ UMR CITERES (CItés, TERritoires, Environnement, Sociétés), UMR7324 – 35 Allée Ferdinand de Lesseps - 37000 Tours, France (srodrigues@univ-tours.fr)

² Ecole Polytechnique Universitaire (Polytech Tours) – 35 allée Ferdinand de Lesseps, 37200 Tours, France

³ CETU Elmis Ingénierie – 11 quai Danton, 37500 Chinon, France

Un grand programme de restauration du lit de la Loire et de ses annexes (planifié sur 14 ans) vise le rééquilibrage morphologique du lit aval du fleuve (tronçon Nantes – Montsoreau) et l’amélioration des fonctionnalités écologiques. Ce tronçon a été victime d’une sévère pression anthropique au cours des décennies précédentes et la décision a été prise de mener plusieurs actions afin d’enrayer le processus d’incision et de restaurer les continuités sédimentaires et écologiques.

Pour la restauration du chenal principal et des chenaux secondaires, les leviers d’intervention de ce programme s’appuient sur :

- la réduction de la pente de la ligne d’eau pour aider le lit à se ré-engraver dans sa partie aval et ainsi enclencher une dynamique favorable de rééquilibrage des fonds ; pour ce faire, une action structurante sera réalisée au niveau du site de Bellevue ;
- la remise en mouvement du stock important de sédiments actuellement piégés sur les grèves et dans les bras secondaires, pour réduire les contraintes favorisant l’incision et favoriser sa migration vers le lit de la Loire ; cette action implique la réouverture de certains chenaux secondaires et l’arasement d’épis de navigation.

Pour les annexes hydrauliques, le programme repose sur une planification de restauration des annexes (boires) de la Loire, entre Nantes et Montsoreau, en vue de recréer une mosaïque d’habitats avec différents stades de succession écologiques.

Dans ce cadre, le programme R-TEMUS vise l’acquisition de connaissances pour définir au mieux le fonctionnement hydrosédimentaire et écologique de la Loire sur ce tronçon ainsi que la réponse écologique aux actions d’aménagement/restauration qui s’y tiendront dans l’avenir. Les trajectoires évolutives potentielles de la Loire dans le futur, ainsi que leur durabilité, leur perception par le public et leurs conséquences sur les usages sont des points cruciaux examinés par R-TEMUS. Aussi, ce projet se divise en 3 blocs disciplinaires ” perméables ” qui concernent 1) le fonctionnement abiotique (transport solide et morphologie), 2) le fonctionnement biotique (successions végétales et faune benthique), et 3) la dimension humaine et sociale (réception sociale/usages). L’objectif de ce programme interdisciplinaire est de produire des résultats de recherche permettant une gestion intégrée de la Loire sur le tronçon concerné par une analyse fonctionnelle du système naturel et des impacts des travaux de restauration (sur les compartiments écologiques et humains). Ce programme financé par l’Agence de l’eau Loire- Bretagne et le FEDER Loire implique également Voies Navigables de France, le CEN Pays de Loire, le GIP Loire estuaire, le Port de Nantes, plusieurs bureaux d’études en hydraulique/environnement et l’Université de Tours.

Mots-Clés: Restauration, Loire, transport solide, écologie, gestion sédimentaire

Evolution morpho-sédimentaire du lit de la rivière Ehen à la reconnexion d'un affluent éphémère

Baptiste Marteau ¹, Chris Gibbins ¹, Damià Vericat ², Ramon J. Batalla ^{2,3},

¹ Northern Rivers Institute, Université d'Aberdeen – Ecosse (Royaume-Unis) (marteau.baptiste@gmail.com)

² Fluvial Dynamics Research Group, Université de Lleida – Catalogne (Espagne)

³ Catalan Institute for Water Research – Girona - Catalogne (Espagne)

La rivière Ehen, située dans le nord-ouest de l'Angleterre, héberge la dernière population de moules perlières (*M. margaritifera*) du pays. La rivière s'écoule du lac Ennerdale, dont la capacité de stockage a été augmentée dans les années 1970 par la construction d'un seuil à l'exutoire et le détournement de son affluent principal, Ben Gill. La rivière Ehen s'est alors retrouvée privée d'apports sédimentaires. Le lit de la rivière s'est progressivement stabilisé, sa morphologie s'est simplifiée et la mobilité des sédiments a été fortement réduite. La détérioration des conditions d'habitat, illustrée par le 'vide' générationnel observé dans la population de moules perlières, a incité l'Agence de l'Environnement à agir en reconnectant Ben Gill. Cette reconnexion, réalisée en Octobre 2014, permet à l'affluent d'être de nouveau capable de fournir eau et sédiments à la rivière principale. La section de Ben Gill nouvellement recréée fait l'objet d'importants épisodes d'érosion, observés par le biais de photogrammétrie aérienne Structure-from-Motion. L'étude de la dynamique morpho-sédimentaire à l'aval de la confluence a démontré que cet apport de sédiments est identifiable à plusieurs niveaux, avec des effets différents suivant les unités morphologiques (plat courant, rapide et mouille). Premièrement, de nouvelles structures géomorphologiques se sont développées dans la rivière, dont une importante barre sédimentaire à la confluence, qui retient environ 75% des sédiments grossiers délivrés par l'affluent. Ainsi, seuls les sables et graviers sont activement transportés vers l'aval, générant une réduction de la taille médiane des particules (rapide), ainsi qu'un dépôt de sédiments fins à l'aval de blocs (mouille). Cependant, ces effets restent limités comparés aux changements de la dynamique des particules fines. La reconnexion de Ben Gill a engendré une augmentation de 65% de la charge annuelle des sédiments en suspension, avec des conséquences sur les dynamiques de déposition et de remise en suspension de ces sédiments. Ces dynamiques sont contrôlées par le degré de synchronisme des écoulements dans la rivière principale et de ceux de l'affluent. En moyenne, le stockage de sédiments fins a été multiplié par deux depuis la reconnexion, avec de longs épisodes d'accumulation rendant les conditions potentiellement inappropriées à la survie des juvéniles de moule perlière. Ainsi, bien que les ajustements géomorphologiques soient favorables à l'amélioration des habitats, il est possible que l'augmentation de la charge en suspension contrebalance les effets positifs de la restauration. Seul un suivi de la population de moules perlières permettra de s'assurer du succès (ou non) des actions engagées.

Mots-Clés: restauration, reconnexion, moules perlières

Liste des auteurs

- Abadie, Françoise, 67
Ait Elabas, Amine, 53
Alliès, Alexandre, 24
Alliau, Damien, 35
Amielh, Muriel, 17
Ancey, Christophe, 61
Anselmet, Fabien, 17
Antoine, Jean-Marc, 32
- Bakyono, Jean-Paul, 52
Bartout, Pascal, 55
Batalla, Ramon J., 85
Beauchamp, Axel, 50
Belletti, Barbara, 62
Belleudy, Philippe, 60
Berni, Céline, 22, 37, 42
Berthe, Thierry, 45
Bertrand, Mélanie, 48
Besnier, Anne-Laure, 77
Bizzi, Simone, 62
Blanpied, Johann, 32
Bollaert, Erik, 20
Boutault, Fabien, 57
Boyer, Patrick, 17
Bréhéret, Jean-Gabriel, 64
Breilh, Bertrand, 80
Brousse, Guillaume, 80
Brunelle, Corinne, 36
Buffet, Alexis, 42, 59
Bulteau, Théo, 57
Bultingaire, Ludovic, 31
- Camenen, Benoît, 18, 22, 33, 36, 40, 43, 59, 75
Carbon, Damien, 50, 68
Carbonneau, Patrice, 62
Cardot, Romain, 56
Carozza, Jean-Michel, 32, 51
Cassan, Ludovic, 79
Cassel, Mathieu, 31
Castelletti, Andrea, 62
Cazilhac, Marine, 44
Chapuis, Margot, 53
Chardon, Valentin, 82
Chaumillon, Eric, 45, 74
- Chaumillon, Léo, 45
Chouquet, Isabelle, 80
Christophe, Rousseau, 43
Clément, Misset, 44
Claude, Nicolas, 60, 65
Clutier, Anne, 82
Copard, Yoann, 45, 74
Cordier, FLorian, 65
Coulibaly, Karna, 52
Coutaz, Jonathan, 25, 63
Crosato, Alessandra, 14, 65
- Daigle, Louis-Frédéric, 36
de Linares, Matthieu, 23
Debret, Maxime, 45, 74
Deloffre, Julien, 45, 46, 74
Delus, Claire, 30
Depret, Thomas, 31
Des Roches, Mathieu, 36
Desmet, Marc, 45
Develle, Anne-Lise, 45, 74
Dhont, Blaise, 61
Dramais, Guillaume, 33
Druine, Flavie, 46
Duarte, Rafael, 20
Dufour, Simon, 68
Dugué, Violaine, 75
Dussouillez, Philippe, 25
- El kadi Abderrezzak, Kamal, 21, 22
Eschbach, David, 28
- Fabien, Thollet, 43
Fantino, Guillaume, 31
Ferracci, Thomas, 17
Finaud-Guyot, Pascal, 28
Fleury, Jules, 63
Francus, Pierre, 15, 36
Fretaud, Thierry, 83
Frysou, Olivier, 79
- Garambois, Pierre-André, 28
Gardes, Thomas, 45, 74
Gassier, Ghislain, 25
Gaucher, Romain, 80

Gautier, Emmanuèle, 27, 39
 Gay-Ovejero, Isabelle, 52
 Geay, Thomas, 38
 Gibbins, Chris, 85
 Gilet, Louis, 39
 Gilles, Guillaume, 31
 Glais, Arthur, 68
 Gob, Frédéric, 27, 39
 Grosbois, Cécile, 45
 Grospretre, Loïc, 78
 Guillot, Emmanuel, 70

 Handfus, Timothée, 34, 70, 84
 Hicks, Murray, 49
 Hirschberger, Florent, 52
 Houbrechts, Geoffrey, 27, 39
 Houssier, Jérôme, 82

 Jaeggi, Martin, 20
 Jantzi, Hugo, 51
 Jodeau, Magali, 77
 Jourdain, Camille, 60
 Jugé, Philippe, 34, 64, 70, 84

 Kaddi, Yassine, 75
 Kanbar, Hussein J., 30
 Koltalo, Florence, 45

 Laberdesque, Yan, 74
 Lacoste, Aurélien, 52
 Lafite, Robert, 46
 Landon, Norbert, 69, 81
 Laplaige, Clément, 52
 Lascaux, Jean-Marc, 57
 Lauters, François, 40, 43
 Laval, Frédéric, 31, 80
 Le Bescond, Chloé, 42
 Le Coz, Jérôme, 33, 37, 42, 49, 75
 Le Guern, Jules, 34, 84
 Legout, Cédric, 44
 Lejot, Jérôme, 69
 Lemoine, Jean-Philippe, 46
 Lespez, Laurent, 50
 Levecq, Yannick, 27
 Liébault, Frédéric, 19, 48
 Liebig, Hervé, 73
 Lissak, Candide, 68
 Loire, Rémi, 73, 78
 Losson, Benoît, 30

 Malavoi, Jean-René, 60, 78
 Manceau, Luc, 30
 Mano, Vincent, 20

 Mansanarez, Valentin, 49
 Mansuy-Huault, Laurence, 30
 Marchetti, Giulia, 62
 Marcotte, Stéphane, 45, 74
 Marion, Julia, 73
 Marteau, Baptiste, 85
 Masson, Matthieu, 42
 Mengin, Nicolas, 73
 Montargès-Pelletier, Emmanuelle, 30
 Muracciole, Aurore, 52

 Némery, Julien, 43
 Nassor, Faouzia, 54
 Navratil, Oldrich, 69
 Neves, Clément, 39
 Ngocko, Séverin, 55
 Nguimalet, Cyriaque, 55
 Nizou, Jean, 45
 Nzango, Chanel, 55

 Ortiz, Olivier, 78

 Pénard, Lionel, 59
 Pérès, François, 79
 Pérard, Claire, 23
 Paquier, André, 75
 Patault, Edouard, 74
 Peeters, Alexandre, 27
 Peeters, Pierre, 23
 Peret, Sophie, 24
 Perret, Emeline, 22, 36
 Peteuil, Christophe, 54, 83
 Petit, François, 27
 Pham van Bang, Damien, 65
 Piégay, Hervé, 18, 31, 57, 78, 82
 Piasny, Guillaume, 28
 Pichon, Nicolas, 23
 Pierrefeu, Gilles, 40
 Poirel, Alain, 44
 Pollin, Thomas, 67
 Portet-Koltalo, Florence, 74
 Prati, Claudio, 62
 Probst, Jean-Luc, 51

 Recking, Alain, 19, 38, 44
 Renard, Benjamin, 49
 Reulier, Romain, 68
 Revillon, Sidonie, 45
 Reynaud, Sylvain, 67, 71
 Rielland, Pierre-Alain, 23
 Rodier, Xavier, 52
 Rodrigues, Stéphane, 34, 64, 65, 70, 84
 Rollet, Anne Julia, 68

Rollet, Anne-Julia, 50
Roux, Hélène, 79

Sabatier, Pierre, 45, 74
Schmitt, Laurent, 28
Schnmitt, Laurent, 82
Serouilou, Jordane, 82
Simon, Michel, 45
Skupinski, Grzegorz, 82
Smart, Graeme, 49

Taisant, Rémi, 71
Tal, Michal, 18, 19, 25, 60, 63
Tamisier, Vincent, 27
Tassi, Pablo, 65
Thollet, Fabien, 42, 59
Thomas, Céline, 26
Tiriau, Eric, 26
Touchart, Laurent, 55
Touche, Jonathan, 39

Vázquez Tarrío, Daniel, 18, 19
VandeWalle, François, 77
Vergne, Adrien, 37
Vericat, Damià, 85
Verney, Romaric, 46
Villar, Marc, 64
Ville, Fanny, 63
Virmoux, Clément, 39

Waldvogel, Yves, 30
Wintenberger, Coraline, 34, 64, 84
Wirz, Carole, 83

Yassine, Rabab, 79

Zanker, Sébastien, 38

Liste des participants

Nom	Prénom	Courriel	Organisme
Ait Elabas	Amine	medamine.aitelabas@yahoo.fr	Université Lyon 2
Alliau	Damien	d.alliau@cnr.tm.fr	CNR
Allies	Alexandre	a.allies@ameten.fr	AMETEN
André	Aurélié	aurelie.andre@edf.fr	EDF
Belletti	Barbara	barbara.belletti@polimi.it	Politecnico di Milano
Belleudy	Philippe	philippe.belleudy@univ-grenoble-alpes.fr	U. Grenoble Alpes
Berni	Céline	celine.berni@irstea.fr	Irstea Lyon
Bertrand	Mélanie	melanie.bertrand@irstea.fr	Irstea Grenoble
Blanpied	Johann	johann.blanpied@univ-tlse2.fr	Université Toulouse
Buffet	Alexis	alexis.buffet@irstea.fr	Irstea Lyon
Bulteau	Theo	theo.bulteau@gmail.com	EVS - Lyon 3
Camenen	Benoît	benoit.camenen@irstea.fr	Irstea Lyon
Carbon	Damien	carbon.damien@live.fr	Université Rennes
Cassel	Mathieu	mathieu.cassel@ens-lyon.fr	CNRS
Cathelin	Fabrice	fabrice.cathelin@eurmc.fr	Agence de l'Eau RMC
Chapuis	Margot	margot.chapuis@unice.fr	Université Côte d Azur
Chardon	Valentin	valentin.chardon@live-cnrs.unistra.fr	Université Strasbourg
Charlatchka	Rayna	rayna.charlatchka@edf.fr	EDF R&D
Cordier	Florian	florian.cordier@edf.fr	EDF R&D
Coutaz	Jonathan	coutaz@cerege.fr	AMU
Crave	Alain	alain.crave@univ-rennes1.fr	Université Rennes 1
David	Mélodie	melodie.david@univ-tlse2.fr	Université Toulouse
De Linares	Matthieu	matthieu.delinares@arteliagroup.com	Artelia
Dhont	Blaise	blaise.dhont@epfl.ch	EPFL
Dramais	Guillaume	guillaume.dramais@irstea.fr	Irstea Lyon
Du BoisBerranger	Nicolas	nicolas.duboisberranger@anteagroup.com	Antea Group
Dugué	Violaine	v.dugue@cnr.tm.fr	CNR
Dupont	Anna	a.dupont@shf-hydro.org	SHF
El kadi Abder-rezzak	Kamal	kamal.el-kadi-abderrezzak@edf.fr	EDF R&D
Fantino	Guillaume	guillaume.fantino@geopeka.com	GeoPeka
Ferracci	Thomas	thomas.ferracci.physique@gmail.com	IRSN-AMU
Fretaud	Thierry	t.fretaud@cnr.tm.fr	CNR
Frey	Philippe	philippe.frey@irstea.fr	UGA, Irstea Grenoble
Gardes	Thomas	thomas.gardes2@univ-rouen.fr	Université Rouen
Gassier	Ghislain	gassier@cerege.fr	Cerege
Gilet	Louis	Louis.GILET@lgp.cnrs.fr	Université Paris 1
Gilles	Guillaume	g.gilles@burgeap.fr	Burgeap
Gob	Frédéric	frederic.gob@univ-paris1.fr	Université Paris 1
Gruffaz	Frédéric	f.gruffaz@eauterritoires.fr	Eau & Territoires
Houbrechts	Geoffrey	G.Houbrechts@ulg.ac.be	Université de Liège
Jantzi	Hugo	hugo.jantzi@univ-tlse2.fr	Université Toulouse
Jodeau	Magali	magali.jodeau@edf.fr	EDF R&D
Joubert	Catherine	c.joubert@progeo-environnement.com	Progeo Environnement
Jourdain	Camille	cam.jourdain@gmail.com	ENPC, EDF R&D

Kondolf	Mathias	kondolf@berkeley.edu	Berkeley
Labeledade	Rémi	Remi.Labeledade@wsp.com	WSP France
Lacoste	Aurélien	aurelien.lacoste@univ-tours.fr	Université Tours
Landon	Norbert	norbert.landon@univ-lyon2.fr	Université Lyon
Lascaux	Jean-Marc	jean-marc.lascaux@ecogea.fr	ECOGEA
Launay	Marina	marina.launay@irstea.fr	Irstea Lyon
Lauters	François	francois.lauters@edf.fr	EDF - DTG
Laval	Frédéric	f.laval@burgeap.fr	Burgeap
Le Contellec	Ludovic		AMETEN
Le Coz	Jérôme	jerome.lecoz@irstea.fr	Irstea Lyon
Le Guern	Jules	leguern@univ-tours.fr	Université Tours
Liébault	Frédéric	frederic.liebault@irstea.fr	Irstea Grenoble
Loire	Rémi	remi.loire@edf.fr	EDF - CIH
Losson	Benoît	benoit.losson@univ-lorraine.fr	Université Lorraine
Mano	Vincent	vincent.mano@arteliagroup.com	Artelia
Marteau	Baptiste	marteau.baptiste@gmail.com	Université Aberdeen
Mayen	Vincent	drhformation@eurmc.fr	Agence de l'Eau RMC
Melun	Gabriel	gabriel.melun@afbiodiversite.fr	AFB
Mercier	Fabienne	fabienne.mercier@smavd.org	SMAVD
Misset	Clément	clement.misset@irstea.fr	UGA - Irstea Grenoble
Negrello	Pierre	pierre.negrello@edf.fr	EDF - CIH
Nunes	Pierre	p.nunes@cnr.tm.fr	CNR
Papa	Daniel Vito	danielvito.papazang@epfl.ch	EPFL
Paquier	André	andre.paquier@irstea.fr	Irstea Lyon
Pascal	Ivan	ivan.pascal@epfl.ch	EPFL
Pénard	Lionel	lionel.penard@gmail.com	Irstea Lyon
Peret	Sophie	s.peret@ameten.fr	AMETEN
Perret	Emeline	emellperret@gmail.com	Irstea Lyon
Peteuil	Christophe	c.peteuil@cnr.tm.fr	CNR
Piasny	Guillaume	guillaume.piasny@gmail.com	Université Strasbourg
Piégay	Hervé	herve.piegay@ens-lyon.fr	Université Lyon
Pierrefeu	Gilles	g.pierrefeu@cnr.tm.fr	CNR
Pollin	Thomas	t.pollin@cnr.tm.fr	CNR
Poncet	Maud	maud.poncet@loire.fr	Conseil Dép. 42
Recking	Alain	alain.recking@irstea.fr	Irstea Grenoble
Reynaud	Sylvain	s.reynaud@cnr.tm.fr	CNR
Robert	Antonin	a.antonin.robert@gmail.com	Université Lyon
Rodrigues	Stéphane	srodrigues@univ-tours.fr	Université Tours
Rousseau	Gauthier	gauthier.rousseau@gmail.com	EPFL
Schmitt	Laurent	laurent.schmitt@unistra.fr	Université Strasbourg
Tacon	Sandrine	sandrinetacon@gmail.com	Morph eau Conseils
Tal	Michal	tal@cerege.fr	U. Aix-Marseille
Tamisier	Vincent	vincent.tamisier@lgp.cnrs.fr	Université Paris 1
Terrier	Benoît	benoit.terrier@eurmc.fr	Agence de l'Eau RMC
Thollet	Fabien	fabien.thollet@irstea.fr	Irstea Lyon
Thomas	Céline	celine.thomas@arteliagroup.com	Artelia
Tiriau	Eric	eric.tiriau@arteliagroup.com	Artelia
Vázquez	Daniel	vazqueztarrio@cerege.fr	Cerege
Tarrío			
Vergne	Adrien	adrien.vergne@irstea.fr	Irstea Lyon
Verjus	Gaëlle	g.verjus@progeo-environnement.com	Progeao Env.
Wintenberger	Coraline	coraline.wintenberger@univ-tours.fr	Université Tours
Wirz	Carole	c.wirz@cnr.tm.fr	CNR
Yassine	Rabab	rabab.yassine@plvg.fr	Pays de Lourdes
Zanker	Sébastien	sebastien.zanker@edf.fr	EDF - DTG

Liste des sponsors



Électricité de France (EDF) est le premier producteur et fournisseur d'électricité en France et dans le monde. En France, EDF produit 45 milliards de kWh par an d'hydroélectricité au travers de l'exploitation de 640 barrages (dont 150 dépassant 20 mètres de haut) et de 439 centrales hydrauliques. Selon EDF, 95 % du potentiel hydraulique français est actuellement exploité. Entre 2011 et 2015, EDF a investi 1 milliard d'euros dans la modernisation de ses barrages et 450 millions d'euros pour le développement de nouveaux projets hydrauliques. L'énergie hydraulique représente en moyenne 10 % du volume total de l'énergie produite par EDF en France.



Compagnie Nationale du Rhône (CNR)

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) est le premier producteur français d'énergie exclusivement renouvelable (eau, vent, soleil) et le concessionnaire du Rhône pour la production d'hydroélectricité, le transport fluvial et les usages agricoles. Depuis 1934, CNR exploite et aménage le fleuve dans le cadre de trois missions confiées par l'État : produire de l'électricité, développer la navigation fluviale, favoriser l'irrigation. CNR est concepteur et exploitant des centrales hydroélectriques, barrages et écluses du Rhône. Elle a construit sur le fleuve des sites industriels et portuaires, des ports de plaisance, des haltes nautiques et des bases de loisirs. En septembre 2015, CNR exploite 19 centrales hydro-électriques sur le Rhône, 14 centrales photovoltaïques et 33 parcs éoliens. Sa production s'élève en moyenne à 14 milliards de kWh par an. Depuis plus de 80 ans, CNR intervient sur le Rhône à plusieurs niveaux : étude, conception, exploitation d'ouvrages, commercialisation de la production, prospection et développement d'actifs. L'entreprise commercialise des énergies intermittentes à d'autres producteurs. CNR dispose d'un bureau d'ingénieurs conseil intégré et d'un laboratoire pour l'export de son expertise en ingénierie hydroélectrique, fluviale et environnementale à l'international.



Eau du Grand Lyon

La Métropole de Lyon a la responsabilité du cycle de l'eau sur son territoire et assure à ce titre la distribution et l'assainissement de l'eau pour les 59 communes du territoire. Eau potable L'une des missions de la Métropole est de fournir à ses habitants une eau de qualité en quantité suffisante et permanente. L'eau de la Métropole de Lyon provient essentiellement des nappes souterraines alimentées par le Rhône et captées dans la zone de Crépieux-Charmy. Ce champ captant est l'un des plus vastes d'Europe. Il est situé en limite nord de Lyon et abrite 114 puits qui fournissent 95 % de l'eau consommée. Assainissement Les eaux usées doivent être dépolluées avant leur rejet dans les fleuves et les rivières. Pour un Rhône propre jusqu'à la Méditerranée, la Métropole de Lyon s'emploie à collecter et à traiter l'eau sale produite dans l'agglomération. Les services publics de l'assainissement collectif et non collectif sont assurés directement par la Métropole de Lyon.



Région Auvergne-Rhône-Alpes

La région Auvergne-Rhône-Alpes soutient la recherche académique en particulier via le dispositif ARC lancé en juillet 2011 mais aussi via le soutien direct de colloques comme TSMR. L'ambition du projet de recherche porté par l'ARC Environnement est d'aider notre région à maintenir l'équilibre fondamental, mais fragile, du développement durable en s'appuyant sur le secteur de la recherche et de l'innovation, particulièrement actif dans les thématiques de l'ingénierie environnementale et de l'étude des relations environnement-santé. Les objectifs :

- Contribuer à l'avancée des connaissances sur les systèmes environnementaux, leurs mécanismes fondamentaux et leurs interactions avec la société.
- Répondre aux grandes interrogations publiques par la diffusion de ces savoirs nouveaux et par leur intégration aux prises de décisions.
- Favoriser l'essor économique de notre région par la conception de procédés, d'écotechnologies et de pratiques nouvelles participant au développement durable.
- Servir de levier aux actions nationales et internationales.



SHF

Placée aux interfaces des sciences de l'univers, de la mécanique des fluides et de l'hydraulique, au carrefour de la recherche et de ses applications, la SHF a pour vocation principale de mettre en valeur, faire progresser et diffuser les connaissances scientifiques et techniques dans tous les domaines de l'Eau. La SHF s'adresse aux scientifiques chercheurs et ingénieurs, aux gestionnaires de la ressource, aux entreprises du domaine de l'eau, de l'énergie et des machines hydrauliques, aux acteurs du développement durable, aux bureaux d'études, aux collectivités et aux étudiants. Elle gère la chaîne pédagogique SHF-Hydrochannel.

Agence Française pour la Biodiversité (AFB)

L'Agence française pour la biodiversité est un établissement public du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. Elle exerce des missions d'appui à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de la connaissance, la préservation, la gestion et la restauration de la biodiversité des milieux terrestres, aquatiques et marins. Elle vient en appui aux acteurs publics mais travaille également en partenariat étroit avec les acteurs socio-économiques. Elle a aussi vocation à aller à la rencontre du public pour mobiliser les citoyens en faveur de la biodiversité.



Irstea

Irstea est un organisme de recherche qui, depuis plus de 30 ans, travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau et les risques associés, sécheresse, crues, inondations, l'étude des écosystèmes complexes et de la biodiversité dans leurs interrelations avec les activités humaines.

Recherche pluridisciplinaire, expertise et appui aux politiques publiques « agro-environnementales », partenariat avec les collectivités territoriales et les acteurs du monde économique, telles sont les caractéristiques d'Irstea, labellisé « Institut Carnot ». Dans la continuité du modèle de recherche du Cemagref, nos ingénieurs et nos chercheurs s'investissent au quotidien dans leur mission : relever le défi de la compréhension du changement global pour un développement durable et éco-responsable.