

Accord Cadre ZABR - Agence de l'Eau

Fiche projet 2018-64-TRESSES

Titre du projet :

Modélisation morphodynamique 1D : un outil pour évaluer la gestion et les projets de restauration des rivières alpines à lit de galets et pour fournir les données nécessaires aux modèles statistiques d'habitat afin d'effectuer les évaluations décennales à l'échelle d'un tronçon

Personne responsable :

Michal TAL, AMU, CEREGE UMR 7330

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

Aix - Marseille Université, CEREGE UMR 7330 (responsable, Michal TAL)

IRSTEA Lyon – Equipe DYNAM (responsable, Nicolas LAMOUREUX)

IRSTEA Grenoble – UR Etna (responsable, Frederic LIEBAULT)

Autres partenaires :

EDF - CIH Service Hydraulique (responsable, Mathieu SECHER)

University of South Carolina, Department of Civil and Environmental Engineering (responsable, Enrica VIPARELLI)

Thème de rattachement ZABR :

Flux, formes, habitats biocénoses

Thème de rattachement Agence de l'Eau :

I- Les risques environnementaux et la vulnérabilité des milieux

Q6. Quelle efficacité des travaux de restauration ?

Q20. Quels régimes hydrologiques biologiquement fonctionnels ?

Q41. Comment articuler la restauration hydromorphologique des milieux aquatiques et la maîtrise des risques inondation ?

Q42. Comment définir les potentialités écologiques des masses d'eau fortement modifiées ?

Q43. Comment caractériser le transport solide et dégager les enjeux de gestion ?

Site ou Observatoire de rattachement ZABR :

Drôme et rivières en tresse

RESUME

Le projet a pour but de répondre au manque actuel de modèle numérique capable de reproduire de façon fiable la morphodynamique de rivière en tresse en zone de montagneuse et ainsi fournir des données à long terme nécessaires pour les modèles statistiques d'habitat. Nous proposons de combler cette lacune en validant pour la première fois à l'échelle du terrain un modèle morphodynamique 1 D nouvellement développé, permettant de reproduire la morphodynamique des rivières mixtes alluviales à fond rocheux transportant des sédiments non-uniformes, et ainsi produire un outil robuste pour évaluer les projets de restauration dans des rivières alpines à lit de galets. Une fois validé l'objectif sera de mettre en évidence les possibilités et les avantages de faire des évaluations décennales à l'échelle d'un tronçon des conditions éco-hydrauliques en utilisant des modèles statistiques de l'habitat aquatiques basés sur des données fournies par un modèle morphodynamique.

Livrables : Rapport et synthèse

ENCART 2018-64-TRESSES-CEREGE

L'équipe de recherche du CEREGE (UMR 7330) mène actuellement un projet sur les facteurs de contrôle du remplissage du piège à gravier et l'impact de son fonctionnement sur le lit du Buëch aval, basé sur une analyse des données existantes et un suivi du terrain. L'équipe accueillera en 2018 un postdoc modélisateur qui a développé un modèle morphodynamique 1D permettant de reproduire la morphodynamique des rivières mixtes alluviales et à fond rocheux transportant des sédiments non-uniformes dans le cadre de sa thèse. Dans le cadre de ce projet, l'équipe va tester et adapter le modèle afin de reproduire les processus de transport de sédiments sur le Buëch entre le barrage de Serres et sa confluence, et déterminer la réaction du système aux schémas d'aménagement. L'équipe développera une interface graphique permettant d'adapter le modèle, qui sera open-source, à d'autres rivières en tresses. L'équipe utilisera le modèle morphodynamique pour générer des données hydrauliques qui seront intégrées dans des modèles d'habitat statistiques et participera à l'évaluation du potentiel et des limites du couplage de ces deux types de modèles.

ENCART 2018-64-TRESSES-IRSTEA Lyon

L'unité de recherche MALY mettra en œuvre des modèles d'habitat statistiques (<https://dynam.irstea.fr/software/>), génériques et basés sur les exigences écologiques des poissons et des invertébrés, pour évaluer les effets des changements morphodynamiques (modèle 1D) sur la qualité de l'habitat des espèces aquatiques. Le potentiel et les limites du couplage modèle morphodynamique / modèles d'habitat seront évalués.

ENCART 2018-64-TRESSES-IRSTEA Grenoble

L'Unité de Recherche ETNA de l'Irstea de Grenoble travaille actuellement à l'évaluation morphodynamique et sédimentaire de l'opération de recharge sédimentaire effectuée en septembre 2016 sur le Buëch en aval du barrage de St Sauveur. Dans le cadre de ce projet, l'unité participera à la production de données de terrain (MNT haute-résolution, granulométrie de surface) nécessaires à l'évaluation de la performance du modèle morphodynamique 1D en matière de reconstitution des réponses morpho-sédimentaires. L'unité mettra également à profit du projet son expérience en matière d'analyse et d'interprétation de la morphodynamique des lits en tresses.

Objectifs et méthodologie

Défis du suivi in-situ des rivières en tresses à lit de galets dans un cadre montagnard et intérêt d'un modèle morphodynamique 1D pour les rivières en tresses

Les rivières en tresses sont connues pour leur réseau de multiples chenaux en constante reconfiguration, qui convergent et divergent autour de bancs à graviers et d'îles. Les ingrédients essentiels d'une morphologie en tresses sont un apport abondant en charge de fonds et des taux de transport élevés, des berges facilement érodables, des avulsions fréquentes, et des configurations d'écoulement complexes. Les morphologies en tresses sont prédominantes dans les montagnes à

cause de la combinaison de pentes élevées, d'apports importants en sédiments et de fortes précipitations. Les rivières en tresses sont particulièrement présentes dans les vallées de piémont des Alpes françaises, où la combinaison de forts apports en sédiments depuis les vallées torrentielles intramontagnardes et d'une largeur notable du fond de vallée permet l'apparition de plaines alluviales en tresses (Piegay et al., 2009 ; Liebault et al., 2013) . La forte dynamique de chenaux en tresses s'étendant dans les plaines alluviales sur une largeur typique d'une centaine de mètres rend leur suivi in-situ extrêmement difficile. Par ailleurs, la grande majorité des rivières alpines en tresses sont composées d'un mélange (bimodal) de sables et de graviers, dont la fraction en graviers n'est transportée que lors des périodes de fort débit, ce qui a pour conséquence un armoring de la surface du lit pendant les périodes de bas débit. Les mesures directes du transport sédimentaire utilisant les techniques classiques (e.g. échantillonnage avec un Helley-Smith) durant les crues se révèlent dangereuses et difficiles à mettre en place. Enfin, les rivières de montagnes à lit de galets contiennent typiquement des affleurements (seuils) rocheux qui créent des modifications importantes de la résistance à l'écoulement et de la dynamique de transport (Johnson, 2014). Pourtant, ces affleurements rocheux ne sont habituellement pas pris en compte à cause d'un manque de données et d'une compréhension fondamentale insuffisante de la façon dont ils affectent les processus sédimentaires.

Les défis d'un suivi direct des rivières à lit de graviers en montagne nécessite de se reposer significativement sur des modèles numériques et empiriques afin d'étudier leurs caractéristiques hydrauliques et d'estimer les charges de sédiments, ainsi que pour prédire leur réponse à des forçages naturels ou anthropiques (c.f. Annexe A.1.). La modélisation morphodynamique 1D constitue un outil numérique puissant pour décrire la coévolution des écoulements et des sédiments dans les lits des rivières. Ces modèles, dans lesquels les dynamiques sédimentaires et hydrauliques, ainsi que leurs interactions, sont étudiées de concert, a transformé notre capacité à prédire comment une rivière va évoluer dans le temps et dans l'espace, pour un régime hydro-sédimentaire donné (c.f. Annexe A.2.). Pourtant, la plupart des modèles morphodynamiques existants sont adaptés pour des rivières à chenal unique avec une charge en sédiment mono-modale. Une hypothèse principale des études morphodynamiques récentes est que les rivières modélisées sont totalement de type alluvial, et donc que leur lit et leurs berges sont constitués de sédiments alluviaux non-cohésifs et que leur équilibre est caractérisé par des conditions hydrodynamiques stationnaires et uniformes. De plus, elles ne tiennent pas compte de l'hétérogénéité de la taille de sédiments, et ne fournissent pas d'information sur la manière dont la résistance à l'écoulement et les processus sédimentaires au sein du chenal sont modifiés en lien avec l'épaisseur de la couverture alluviale.

Des prédictions quantitatives sur le transport et le dépôt de sédiments hétérogènes sont essentielles afin de maintenir un écosystème aquatique sain. À l'échelle locale de l'individu, les espèces de poissons montrent une préférence significative pour certaines valeurs de vitesse locale d'écoulement, de profondeur d'écoulement et de taille de grain du lit. Des modèles d'habitat au sein des cours d'eau ont été développés afin de prédire les conséquences des préférences d'habitat des poissons à l'échelle d'un tronçon (e.g., Lamouroux et Capra, 2004). En l'absence de données locales fiables, des modèles d'habitat statistiques basés sur des probabilités de distribution des variables hydrauliques à l'échelle des sections transversales ou à l'échelle d'un tronçon, ont été proposés à leur place. Leur potentiel pour prédire statistiquement les conditions d'habitat pour une large gamme de cours d'eau a été récemment mis en évidence (Girard et al, 2014). Une dépendance moindre aux données spécifiques d'un site et une description complète de la topographie et la vitesse rendent les modèles statistiques bien adaptés pour obtenir à un coût raisonnable des prédictions à l'échelle d'un bassin ou à l'échelle régionale. La principale limitation actuelle de ces modèles d'habitat statistiques est de reposer sur des modèles purement hydrauliques qui ne prennent pas en compte l'évolution du lit, ni celle des tailles de grain. Cela a pour conséquence d'empêcher les prédictions d'habitat à long terme. Un modèle morphodynamique 1D est le seul moyen d'obtenir des données hydrauliques en tenant compte de l'évolution du lit.

Ce projet a pour but de répondre au manque actuel de modèle numérique capable de reproduire de

façon fiable la morphodynamique de rivières en tresses en zone montagneuse et ainsi fournir des données à long terme nécessaires pour les modèles statistiques d'habitat. Nous proposons de combler cette lacune en validant pour la première fois à l'échelle du terrain un modèle morphodynamique 1D nouvellement développé, permettant de reproduire la morphodynamique des rivières mixtes alluviales et à fond rocheux transportant des sédiments non-uniformes, et ainsi produire un outil robuste pour évaluer les projets de restauration dans des rivières alpines à lit de galets. Une fois validé, l'objectif sera de mettre en évidence les possibilités et les avantages de faire des évaluations décennales à l'échelle d'un tronçon des conditions éco-hydrauliques en utilisant des modèles statistiques de l'habitat aquatiques basés sur des données fournies par un modèle morphodynamique.

Le Buëch : un site exceptionnel au niveau mondial pour la validation d'un modèle morphodynamique 1D.

Le modèle morphodynamique 1D développé sera basé sur une nouvelle formulation mathématique validée jusqu'à présent uniquement à l'échelle d'une expérience en laboratoire. Le Buëch, situé dans les Alpes occidentales, constitue un site idéal pour tester et valider le modèle à l'échelle du terrain pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'histoire de la gestion intensive de la rivière (le tronçon de 30 km qui nous intéresse est situé entre le barrage de Saint Sauveur (1992) en amont, et la confluence avec la Durance, contrôlée par le barrage de Saint Lazare (1976), en aval) permet de disposer de données sur plusieurs décennies : débit horaire, élévation du niveau de base et profil en long du chenal, données qui sont essentielles pour valider correctement le modèle numérique. Par ailleurs, afin de réduire l'accumulation de sédiments et le risque de niveaux d'eau élevés dans le réservoir de Saint Lazare (situé dans la zone urbanisée autour de la ville de Sisteron), EDF a creusé en 2010 un piège à graviers de très grande taille (180 000 m³) dans le lit du Buëch à 1 km en amont de la confluence, afin de piéger les sédiments et les empêcher d'atteindre la Durance. Ce piège à graviers a fourni des données uniques sur les volumes de sédiments transportés par une rivière à graviers alpine grâce à des levés bathymétriques deux fois par an. Troisièmement, deux travaux de thèse de doctorat sont actuellement en cours sur le Buëch afin de a) étudier la relation entre l'évolution morphologique, l'hydrologie et le flux sédimentaire (CEREGE, thèse encadrée par M. TAL) et b) évaluer la réinjection de sédiments comme outil de restauration en aval d'un barrage (Université Paris 7 et IRSTEA Grenoble, thèse encadrée par G. ARNAUD FASSETTA et F. LIEBAULT). Le projet proposé bénéficierait ainsi d'un riche ensemble de données de terrain et du suivi actuel : évolution morphologique de la plaine alluviale (photogrammétrie haute-résolution et LiDAR), traceurs (RFIDs actifs), données de transport sédimentaire (hydrophones, placettes peintes), profondeur d'écoulement (sonde de pression), imagerie time-lapse du chenal, concentration en sédiment en suspension (capteur de turbidité), distribution granulométrique le long du lit, et information sur les localisations et les caractéristiques des seuils rocheux le long du tronçon. Enfin, la récente réinjection de sédiments en aval du barrage de Saint Sauveur (septembre 2016) va fournir des données pour tester la capacité des modèles morphodynamiques à prédire quantitativement les impacts des projets de restauration en terme de modification de l'élévation du lit et de la texture des sédiments composant la surface du lit sur des échelles de temps pluri-annuelles.

Finalités et attendus opérationnels

Il est attendu de cette étude de fournir un outil quantitatif, reposant sur des bases physiques, permettant de prédire la réponse des rivières en tresses à des modifications de débit, d'apport en sédiments et de l'élévation du lit. Un tel outil augmenterait de manière drastique notre capacité à évaluer les effets à long terme des projets de restauration de rivière, des projets de gestion et du changement climatique, depuis l'échelle du tronçon à celle du bassin versant. Cet outil pourrait être utilisé afin de répondre aux questions de gestion de rivière, portant par exemple sur la durabilité de dragages effectués afin de réduire le risque de crue, sur la propagation vers l'aval (distance parcourue et vitesse) d'une recharge sédimentaire, ou encore sur un changement des apports venant de l'amont dû à un barrage ou un changement dans l'occupation des sols. Le modèle qui

sera produit grâce à ces travaux sera en libre accès et ne sera pas spécifique au site étudié. Il pourra donc être adapté à d'autres sites d'étude, sur une large gamme de rivières et de projets de restauration, comme par exemple les projets actuels sur le Drac et ceux prévus sur la Bléone.

Obtenir les données afin de caractériser les éventuels impacts biologiques d'une modification morphologique à l'aide d'une étude de terrain demanderait un investissement très important en temps et en moyens, mais cela peut être effectué à moindre coût à l'aide du modèle hydraulique d'habitat déjà utilisé au plan national. Le projet de recherche présenté doit s'attaquer aux défis de l'évaluation de l'habitat à large échelle spatiale et à long terme en se basant sur des modèles aquatiques, en établissant le bénéfice apporté par le couplage de données obtenues par des modèles morphodynamiques 1D à un modèle statistique d'habitat. De tels modèles vont rendre possible la détermination des conséquences à long terme sur les populations de poissons d'une modification de la fréquence des débits de crue d'une rivière, la détermination de régimes de débit les plus favorables à différentes étapes du développement des poissons, et ainsi l'utilisation de ces informations pour la conception des pratiques de gestion du débit.

Déroulement et livrables du projet

La première partie de ce projet se concentrera sur le test d'un modèle basé sur une nouvelle formulation mathématique de la morphodynamique alluviale pour une rivière mixte, alluviale et à fond rocheux, charriant des sédiments non-uniformes, et son ajustement jusqu'à ce que le modèle reproduise avec une bonne adéquation les processus de transport de sédiments à l'échelle du terrain. L'application de ce modèle morphodynamique 1D sera mise en œuvre en deux étapes. En premier lieu, le modèle sera calibré grâce aux données de terrain disponibles afin qu'il reproduise précisément les conditions d'équilibre d'un lit mobile. Ensuite, le système modélisé sera perturbé afin de déterminer comment il réagit à une modification des conditions d'écoulement, d'apport en sédiments et du niveau de base. Ces modifications seront basées sur les schémas d'aménagement qui ont été réellement menés sur le Buëch. Les données disponibles avant et après aménagement du Buëch nous permettront alors de vérifier que le modèle reproduit précisément les processus à l'échelle du terrain. Dans la deuxième partie du projet, le modèle validé sera utilisé pour générer des données hydrauliques à l'échelle spatiale d'un tronçon et à l'échelle temporelle d'une décennie, données ensuite intégrées à un modèle statistique d'habitat. Le choix d'une rivière et d'un tronçon pour tester le modèle couplé sera fait en fonction de la meilleure séquence de données disponible pour valider les prédictions concernant l'habitat.

Les livrables principaux de l'étude seront :

1. Un modèle open-source adapté aux études de la morphodynamique des rivières en tresses à lit à galets. Le modèle aura une interface graphique permettant de facilement adapter le modèle à différents sites et de modifier les régimes hydro-sédimentaires. L'interface permettra de visualiser et exporter les données décrivant les évolutions de la ligne d'eau, l'élévation du lit, les vitesses et les hauteurs d'eau, la granulométrie du lit.
2. Une étude de cas d'évaluation de l'habitat à l'échelle du tronçon et sur une échelle de temps décennale basée sur le couplage de données obtenues par des modèles morphodynamiques 1D à un modèle statistique d'habitat.

Durée du projet : janvier 2018 – janvier 2020

References

- Cui, Y. and Parker, G. (1998), The arrested gravel front: stable gravel-sand transitions in rivers Part 2: General numerical solution, *J, Hydr. Res.*, 36(2), 159 - 182.
- Girard, V., N. Lamouroux, and R. Mons (2014), Modeling point velocity and depth statistical distributions in steep tropical and alpine stream reaches, *Water Resour. Res.*, 50, 427–439, doi:10.1002/2013WR013894.
- Johnson, J. P., 2014, A surface roughness model for predicting alluvial cover and bed load transport rate in bedrock channels, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 119 (10), 2,147-2,173.

Lamouroux, N. (2007), Hydraulic geometry of stream reaches and ecological implications, in *Developments in Earth Surface Processes Gravel Bed Rivers VI*, edited by H. Habersack, H. Piégay, and M. Rinaldi, pp. 661–675, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Lamouroux N. & Capra H., (2002). Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Freshwater Biology* 47 : 1543-1556.

Liébault, F., Lallias-Tacon, S., Cassel, M. and Talaska, N. (2013), Long profile responses of alpine braided rivers in SE France, *River Res. Applic.*, 29: 1253–1266. doi:10.1002/rra.2615

Nelson, P.A., Venditti, J., Dietrich, W.E., Kirchner, J.W., Ikeda, H., Iseya, F. and Sklar, L., 2009, Response of bed surface patchiness to reductions in sediment supply, *Journal of Geophysical Research* 114, F02005, doi: 10.1029/2008JF00 1144.

Parker, G. and Southard, A. J. (1990), Fluvial armor, *Journal of Hydraulic Research* 28 (5), 529 – 544.

Piégay, H., Alber, A., Slater, L. et al. (2009), Census and typology of braided rivers in the French Alps, *Aquat. Sci.* 71: 371. doi:10.1007/s00027-009-9220-4

Robinson, R. A. J. and Slingerland, R. L., 1998, Grain-size trends, basin subsidence and sediment supply in the Campanian Castlegate Sandstone and equivalent conglomerates of central Utah, *Basin Research* 10, 109-127.

Stewardson, M. J., and T. A. McMahon (2002), A stochastic model of hydraulic variations within stream channels, *Water Resour. Res.*, 38(1), 1845, doi:10.1029/2000WR000014.

Viparelli, E., D. Gaeuman, P. R. Wilcock and G. Parker (2011), A model to predict the evolution of a gravel bed river under an imposed cyclic hydrograph and its application to the Trinity River, *Water Resour. Res.*, 47, W02533, doi: 10.1029/2010WR009164.

Viparelli E., Nittrouer, J.A, Parker, G. (2015), Modeling flow and sediment transport dynamics in the lowermost Mississippi River, Louisiana, USA with an upstream alluvial-bedrock transition and a downstream bedrock-alluvial transition: implications for land-building using engineered diversions, *Journal of Geophysical Research – Earth Surface* 120, 534 – 563.

Wright, S. and Parker, G. (2005a), Modeling downstream fining in sand-bed rivers. I: formulation, *Journal of Hydraulic Research* 43 (6), 612 – 619.

Wright, S. and Parker, G. (2005b), Modeling downstream fining in sand-bed rivers. II: application, *Journal of Hydraulic Research* 43 (6), 620 – 630.

Annexes

A.1. Équilibre d'une rivière

L'équilibre d'une rivière est défini par une condition d'érosion ou déposition nette nulle (en d'autres mots, une élévation moyenne du lit stable dans le temps) sur des échelles de temps longues par rapport aux échelles caractéristiques du transport de la charge de fonds et de la migration des bedforms et macroformes, et implique une adéquation parfaite entre l'apport moyen annuel en sédiment (charge et texture) et la capacité de transport (débit x pente) en tout point de la rivière. Cette condition d'équilibre se traduit généralement par un profil en long (i.e. évolution de l'élévation en fonction de la distance vers l'amont depuis l'embouchure) régulier et concave. Les modifications du niveau moyen du lit sont causées par une divergence des flux sédimentaires, c'est-à-dire par un déséquilibre entre l'apport depuis l'amont et ce qui est transporté vers l'aval. La divergence des flux est responsable à l'échelle locale de l'érosion et de la déposition qui contrôlent la migration des bedforms, e.g., le flux sédimentaire augmente vers la crête des dunes à cause de profondeurs de plus en plus faibles et de vitesses plus élevées, et se réduit considérablement à l'aval, et c'est la raison pour laquelle, à plus grande échelle, les rivières déposent une partie de leur charge sédimentaire dans les réservoirs (suite à la perte soudaine de compétence) et incisent à l'aval des barrages qui coupent le transfert sédimentaire. L'aggradation ou la dégradation d'un tronçon de

rivière constitue ainsi une réponse intrinsèque de la rivière à des conditions de déséquilibre associées à des causes naturelles et anthropiques, comme par exemple des variations de l'apport sédimentaire (e.g., barrages, occupation des sols), du régime hydrologique (e.g., barrages, changement climatique), pente du lit (e.g. channelisation, dragage), et/ou du niveau de base (e.g. modification du niveau de la mer, dragage). Un exemple serait une augmentation soudaine de l'apport sédimentaire d'un tronçon de rivière, préalablement à l'équilibre, à cause d'une modification de l'utilisation des sols. La réponse attendue à cette modification serait l'augmentation de la pente du lit qui conduirait à une augmentation de la capacité de transport sédimentaire. Au cours de la transition vers le nouvel état d'équilibre, il existerait une déposition sédimentaire sur le lit qui provoquerait son aggradation. Une modification du niveau du lit se traduit automatiquement par une modification du niveau d'eau avec des conséquences potentiellement dévastatrices : crues, érosion des berges et déstabilisation de structures telles que des ponts ou des digues.

A.2. Principe de la modélisation morphodynamique 1D de rivières

Les études de rivières se concentrent traditionnellement soit sur l'écoulement (i.e. des études hydrauliques, dominées par les ingénieurs) soit sur les sédiments et leur déposition (i.e. des études de sédimentologie, dominées par les chercheurs en sciences de la Terre). Les études morphodynamiques de rivières, dans lesquelles les dynamiques sédimentaires et hydrauliques, ainsi que leurs interactions, sont étudiées de concert, sont très récentes. Néanmoins, l'approche morphodynamique est en train de devenir rapidement la norme pour les études de rivières à cause des interactions entre écoulement et sédiments qui sont au cœur des dynamiques d'évolution fluviales (voir Annexe). L'approche morphodynamique a transformé notre capacité à prédire comment une rivière va évoluer. Grâce à un ensemble de modèles morphodynamiques développés au cours des deux dernières décennies, nous disposons désormais d'outils puissants pour étudier la coévolution des écoulements et des sédiments dans les lits des rivières. Les équations à la base de ces modèles sont les équations standards pour un écoulement à surface libre en eau peu profonde (conservation de la masse et de la quantité de mouvement) et une équation d'Exner de conservation des sédiments appliquée à chaque taille de grain caractéristique. Ces équations sont associées à une équation empirique appropriée pour estimer le transport sédimentaire. Des formulations mathématiques 1D, basées sur ces principes, ont été utilisées dans des modélisations numériques pour décrire quantitativement l'évolution morphodynamique de rivières alluviales et prédire les effets de modifications du régime d'écoulement, de l'apport sédimentaire et du niveau de base (Robinson and Slingerland, 1998, Nelson et al, 2009), et ont été utilisées avec succès pour étudier le tri granulométrique amont-aval (Wright and Parker, 2005 a and b), la recharge des sédiments (Viparelli et al, 2011), les transitions graviers-sables (Cui and Parker, 1998) et le pavage (Parker and Southard, 1990). Les échelles spatiales de ces modélisations varient de quelques kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres, et les échelles temporelles de plusieurs décennies à des échelles de temps géologiques. Bien que des modélisations 2D et 3D aient été aussi développées, celles-ci manquent jusqu'à présent de données de terrain suffisamment fines pour pouvoir être validées à des échelles d'espace et de temps pertinentes.