

Rôle du forçage hydraulique sur les environnements de dépôts fluviaux ; approche par modélisation hydrosédimentaire couplée aux études *in situ*

Role of hydraulic forcing on fluvial sedimentary environments; hydrosedimentary modeling approach coupled with *in situ* studies

NOCLIN Nicolas^{1,2}, KIEFFER Léa², MOURIER Brice¹, LE COZ Jérôme², TROUDET Laura², FAURE Jean-Baptiste², RIQUIER Jérémie³, CAMENEN Benoît², WINIARSKI Thierry¹

- 1) Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR5023 LEHNA, F-69518, Vaulx-en-Velin, France
- 2) INRAE, UR RIVERLY, Villeurbanne, France
- 3) Université de Lyon, UJM-Saint-Étienne, CNRS, EVS UMR5600, F-42023 Saint-Étienne, France

RÉSUMÉ

Les activités anthropiques ont provoqué de nombreuses perturbations du régime hydrosédimentaire de la plupart des fleuves et rivières. La construction de centrales hydroélectriques forme sans doute l'activité la plus impactante avec la création d'ouvrages transversaux (barrages) et de dérivations. Sur les tronçons de fleuves court-circuités (TCC), l'hydrodynamisme induit se caractérise sur les dépôts sédimentaires des chenaux secondaires par une rupture granulométrique nette. L'objectif de ce travail est de simuler le fonctionnement hydrosédimentaire des annexes fluviales du Rhône (lônes) au niveau de Péage de Roussillon (PDR) depuis la mise en place des aménagements, à partir d'un modèle numérique 1D. Les débits et vitesses d'écoulement simulés dans les lônes, les épaisseurs de sédiments et la répartition granulométrique des dépôts traduisent le fonctionnement des annexes fluviales soumises à un débit artificialisé. Ces résultats sont ensuite représentés sous forme de carottes numériques et comparés aux résultats obtenus *in natura* (carottage, radar géologique, sondages à la perche). Les simulations dans le temps et l'espace permettront de mieux cerner les interactions entre la géométrie des lônes, les conditions hydrodynamiques qui en découlent et la trajectoire évolutive de ces milieux. A terme, la démarche permettra également d'évaluer l'incidence des changements hydroclimatiques rapides à venir sur l'ajustement morpho-sédimentaire des annexes fluviales.

ABSTRACT

Human activities have caused many disturbances to the hydrosedimentary regime of most rivers. The construction of hydroelectric power plants is probably the most impactful activity with the creation of transverse structures (dams) and bypasses. On the short-circuited river sections, the induced hydrodynamism is characterized on the sedimentary deposits of the secondary channels by a clear granulometric rupture. The objective of this work is to simulate the hydrosedimentary functioning of the river annexes of the Rhone at Péage de Roussillon (PDR) since the implementation of the developments, from a 1D numerical model. The simulated flow rates and velocities in the lônes, the sediment thicknesses and the granulometric distribution of the deposits reflect the functioning of the river annexes subjected to an artificial flow. These results are then represented in the form of digital cores and compared to the results obtained *in natura* (coring, geological radar). The simulations in time and space will allow to better define the interactions between the geometry of the lônes, the hydrodynamic conditions which result from it and the evolutionary trajectory of these environments. In the long term, the approach will also make it possible to evaluate the impact of future rapid hydroclimatic changes on the morpho-sedimentary adjustment of the river annexes.

MOTS CLES

Annexes fluviales, carottes numériques, forçage hydraulique, Modélisation hydrosédimentaire, Rhône

1 INTRODUCTION

Les infrastructures (digues, épis, seuils, barrages) engendrent un déséquilibre du fonctionnement hydrosédimentaire des fleuves, modifiant le fonctionnement hydraulique, les dynamiques de sédimentation et de transfert des particules. Selon une étude réalisée sur 12 millions de kilomètres de rivières, 77% d'entre elles ne s'écoulent pas naturellement, c'est-à-dire de manière ininterrompue jusqu'à l'océan (Grill et al., 2019). Sur les TCC, une rupture granulométrique distingue les sédiments grossiers (issus d'un fonctionnement sans dérivation) des sédiments fins déposés lorsque le débit réservé est contrôlé à l'amont par un barrage (Vauclin et al., 2021). A partir de modèles numériques 1D, il est possible d'étudier les dynamiques hydrosédimentaires des fleuves et rivières. Nous avons reconstitué, à partir de la modélisation des annexes fluviales, la rupture granulométrique induite par la mise en place d'aménagements. L'approche générale de ce travail vise à simuler et quantifier les effets des aménagements sur les paramètres hydrauliques et la sédimentation dans les annexes fluviales.

2 METHODES DE MODELISATION ET DE TERRAIN

2.1 Le site d'étude

Sur le Rhône, la mise en place de barrages de dérivation entraîne une déconnexion progressive des bras secondaires des fleuves. Le site de Péage-De-Roussillon (PDR) est l'un des 19 TCC du Rhône. Il se présente sous la forme d'un canal aménagé de 10 km parallèle au Rhône aménagé. Plusieurs annexes fluviales (figure 1.c) font partie du réseau hydraulique de ce TCC. Leur fonctionnement hydraulique et hydrosédimentaire est donc tributaire de l'aménagement présent depuis 1977. Sur ce site, nous retrouvons les lînes de Limony et de l'Ilon pour lesquelles l'écoulement est événementiel et la lîne de la platière toujours en écoulement. Ce site est représentatif d'un réseau hydraulique complexe soumis au forçage hydraulique, pour lequel l'écoulement dans les bras secondaires se limite aux périodes de crues extrêmes.

2.2 Modélisation 1D des annexes fluviales et méthodes *in situ*

Un modèle 1D du Rhône a été développé dans le cadre de l'observatoire des sédiments du Rhône (OSR) par INRAE. Un ensemble de données retranscrit le lit du fleuve et les simulations font appel aux codes de calculs MAGE unidimensionnels d'écoulement en régime transitoire. Le modèle d'advection-dispersion ADIS-TS simule le transport de sédiments. Dans le cadre de cette étude, le modèle INRAE a été agrémenté des géométries des lînes obtenues à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) (figure 1). Les données d'entrée sont les débits et les concentrations en matières en suspension (MES) enregistrés en station ou reconstitués (Poulier et al., 2019). Le modèle comprend les barrages de Vaugris, PDR et Saint Vallier. La simulation numérique commence en 1965 et tous les aménagements sont intégrés sur la période 1980-2018. Un travail de terrain (bathymétrie, turbidimétrie, granulométrie des MES, mesure de vitesses et débits d'écoulements) et un suivi de la sédimentation à l'aide de liteaux mesurant les accumulations a permis une calibration et une validation du modèle.

L'acquisition de profils géophysiques longitudinaux et transversaux par radar géologique (GPR, pour ground penetrating radar) a permis de détecter les unités sédimentaires des lînes. Plusieurs carottes sédimentaires associées à ces profils ont été extraites, caractérisées et datées. La granulométrie des carottes sédimentaire a été réalisée par diffraction laser. La datation des carottes est réalisée à partir des tendances en isotopes radioactifs (^{137}Cs) et polluants organiques (PCB, PBDE).

3 RESULTATS

Les simulations présentées ici sont réalisées sur la période comprenant tous les aménagements (1980-2018). Les résultats de simulation hydraulique indiquent que la fréquence de connexion des lînes au réseau hydraulique est divisée par 11,4 du fait de l'aménagement. Les simulations hydrosédimentaires ont été faites dans le but de représenter les résultats sédimentaires sous forme de carottes numériques virtuelles (figure 1.a), à l'aide d'un algorithme spécialement créé. La répartition granulométrique (en abscisse) évolue en fonction de l'épaisseur de la colonne sédimentaire (en ordonnée). Sur l'ensemble du linéaire des lînes de l'Ilon et de Limony, 104 carottes numériques ont été produites. Elles peuvent être mises en parallèle avec les carottes sédimentaires (figure 1.b) et les profils GPR recouvrant largement la zone (figure 1.d). Un facteur de réduction doit être défini pour corrélérer les carottes numériques aux résultats sédimentaires ; la compaction des sédiments et la cohésion des grains n'étant pas prise en compte dans la modélisation. La répartition granulométrique simulée traduit le régime hydrosédimentaire des annexes fluviales en contexte aménagé. Comme dans les carottes sédimentaires, on observe une accumulation de sédiments fins.

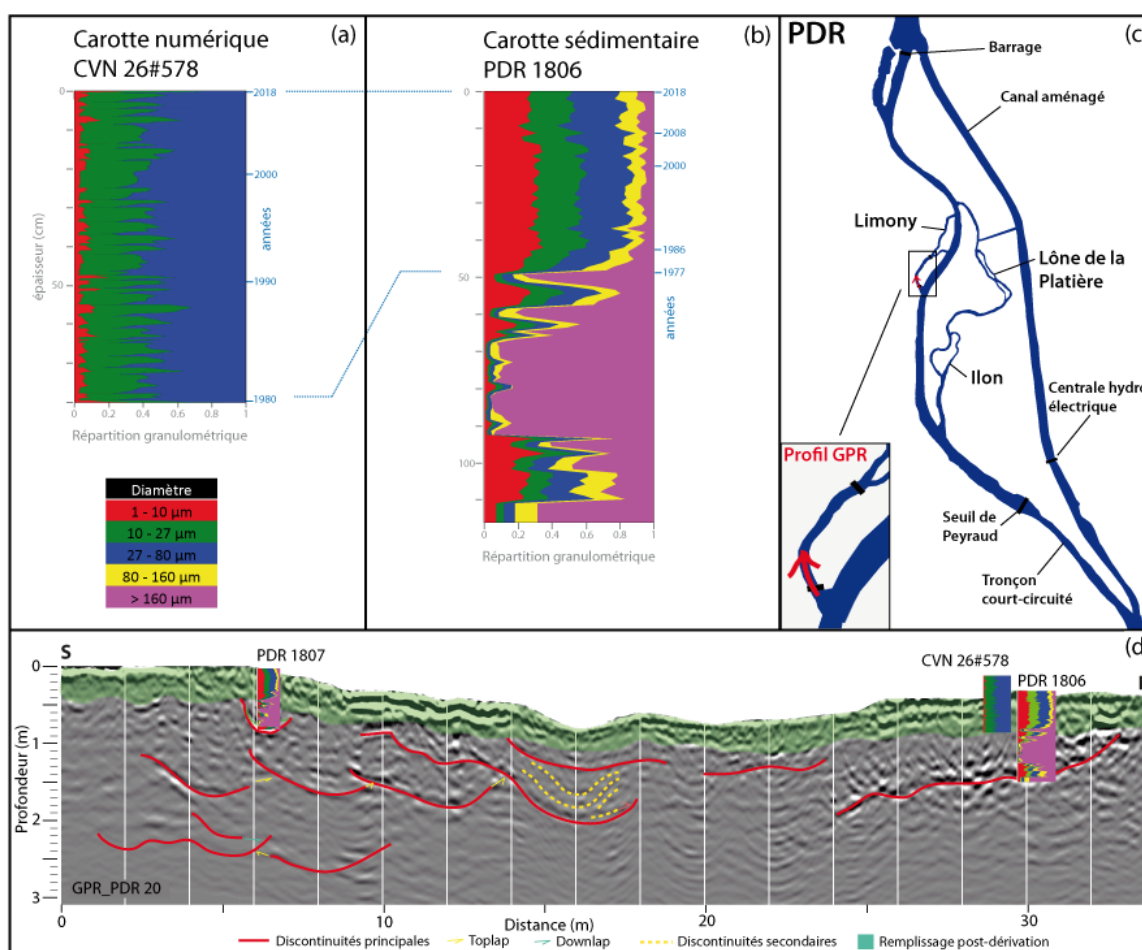


Figure 1 : (a) représentation des résultats de simulation hydrosédimentaire (carotte numérique CVN) (b) résultats de carottage sédimentaire (c) sur le site de PDR et couplage des données avec (d) le profil GPR interprété.

En représentant l'ensemble des carottes numériques sur la ligne de fond des lônes, il est possible d'estimer les volumes du remplissage sédimentaire en 2D, et de les corrélérer aux profils GPR. Le positionnement des carottes numériques sur le profil GPR montre déjà la représentativité des résultats. Un découpage temporel des résultats permet de caractériser les périodes de comblement et de les associer aux événements hydrauliques extrêmes.

4 CONCLUSION

Cette approche permet d'affiner la compréhension des mécanismes auxquels sont soumis les bras secondaires des TCC, à partir du concept de carotte numérique, qui amène un degré de précision temporelle à l'interprétation des observations sédimentaires. Des scénarios sont ensuite insérés en entrée du modèle, allant de la modification des géométries, au démantèlement d'un barrage. Le forçage climatique et son effet sur les annexes fluviales peuvent également être simulés, et l'intégration de polluants au modèle permettra de repérer les zones d'accumulation et d'estimer les quantités déposées.

BIBLIOGRAPHIE

Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Ehalt Macedo, H., Filgueiras, R., Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M.E., Meng, J., Mulligan, M., Nilsson, C., Olden, J.D., Opperman, J.J., Petry, P., Reidy Liermann, C., Sáenz, L., Salinas-Rodríguez, S., Schelle, P., Schmitt, R.J.P., Snider, J., Tan, F., Tockner, K., Valdujo, P.H., van Soesbergen, A., Zarfl, C., 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* 569, 215–221.

Poulier, G., Launay, M., Le Bescond, C., Thollet, F., Coquery, M., Le Coz, J., 2019. Combining flux monitoring and data reconstruction to establish annual budgets of suspended particulate matter, mercury and PCB in the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. *Sci. Total Environ.* 658, 457–473.

Vauclin, S., Mourier, B., Dendievel, A.-M., Noclin, N., Piégay, H., Marchand, P., Vénisseau, A., de Vismes, A., Lefèvre, I., Winiarski, T., 2021. Depositional environments and historical contamination as a framework to reconstruct fluvial sedimentary evolution. *Sci. Total Environ.* 764, 142900.