

Pertinence des méthodes acoustiques pour la quantification du transport solide par charriage dans les grands cours d'eau sablo-graveleux

Relevance of acoustic methods to quantify bedload transport in sandy-gravel bed rivers

Auteur correspondant : Jules LE GUERN, UMR CNRS CITERES - Université de Tours, 35 allée Ferdinand de Lesseps, 37200 Tours, leguern@univ-tours.fr

Auteurs de la communication : Stéphane RODRIGUES, UMR CNRS CITERES - Université de Tours, Tours, France
Thomas GEAY, BURGEAP, R&D, Grenoble, France
Sébastien ZANKER, EDF, Division Technique Générale, Grenoble, France
Alexandre HAUET, EDF, Division Technique Générale, Grenoble, France
Philippe JUGE, CETU Elmis Ingénierie – Université de Tours, Chinon, France
Nicolas CLAUDE, LNHE - EDF R&D, Chatou, France
Pablo TASSI, LNHE - EDF R&D & LHSV Chatou, France

1. Introduction

La quantification du transport sédimentaire de fond est un élément clé, pour comprendre et caractériser le fonctionnement physique et écologique des systèmes fluviaux, mais aussi pour la validation des outils de simulation numériques. Cependant, elle demeure une donnée difficile à obtenir en raison des moyens humains et matériels qu'elle implique. Parmi les outils à disposition, des techniques de mesures indirectes sont développées comme alternative aux mesures directes, souvent lourdes à mettre en œuvre, chronophages et parfois périlleuses. Depuis les années 2000, de nombreux travaux proposent le traitement des signaux capturés par les profileurs acoustiques à effet Doppler (aDcp) comme outil de détermination de la vitesse apparente des sédiments sur le fond (Rennie *et al.*, 2017). L'utilisation de l'acoustique passive a également largement été employée dans le but de quantifier le transport solide. Cette technique a été mise en œuvre au travers d'outils variés comme les hydrophones, mais reste à ce jour cantonnée à l'étude des cours d'eau à charge grossière ou au domaine marin. La plupart du temps, ces mesures acoustiques sont réalisées conjointement avec des préleveurs de sédiments dans le but de calibrer le signal par une mesure de référence directe bien qu'intrusive, imparfaite et de faible représentativité spatiale (Claude *et al.*, 2012).

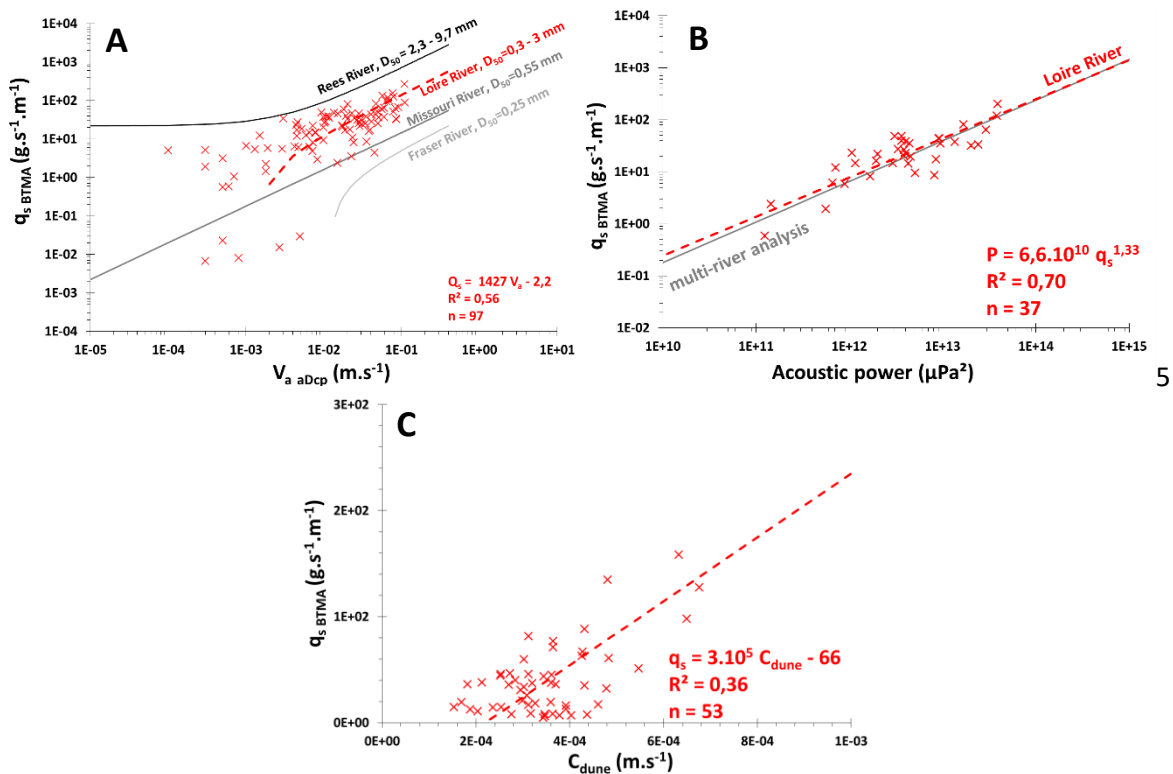
Cette étude teste le déploiement de techniques acoustiques actives (aDcp) et passives (hydrophone) pour la quantification et la cartographie des flux sédimentaires de fond sur le fleuve Loire (France) dans un secteur caractérisé par la présence de formes progradantes et superposées du lit (barres sédimentaires, dunes).

2. Approche : matériel et site d'étude

Le site d'étude est localisé sur la Loire aval, environ 150 km en amont de l'estuaire. Le tronçon étudié est un bief rectiligne de 2,5 km de long dont la pente longitudinale est de $0,0002 \text{ m.m}^{-1}$. Le lit mineur, d'une largeur d'environ 500 m, est composé d'un mélange de sables et de graviers ($D_{50} = 0,9 \text{ mm}$). Afin de quantifier la charge solide, plusieurs techniques ont été employées. Les mesures directes de la charge de fond ont été réalisées selon des verticales réparties sur une section transversale avec deux préleveurs iso-cinétiques synchronisés (*Bedload Transport Meter Arnheim*, BTMA). Sur chaque verticale de mesure, 20 prélèvements de 2 minutes (minimum) ont été réalisés pour déterminer un taux de transport unitaire de la charge de fond. Parallèlement, les mesures acoustiques ont été réalisées à l'aide d'un aDcp *Sontek Riversurveyor M9* (bi-fréquence, 1000 et 3000 Hz) pour mesurer la vitesse apparente du fond. Un hydrophone *Teledyne RESON TC4014*, caractérisé par une large gamme de fréquence utilisable (15 Hz à 480 kHz), a été employé pour la mesure de la puissance acoustique dégagée par le charriage. Le bateau en charge de l'aDcp a été ancré sur les verticales de mesure BTMA pendant une durée variant de 5 minutes à 1 heure, tandis que l'hydrophone a été mis en œuvre en laissant dériver le bateau support de manière à passer la section de jaugeage solide au cours de la dérive. Enfin, un sondeur bathymétrique monofaisceau (*Tritech PA500*, 500 kHz) a été utilisé pour mesurer la célérité des dunes en suivant des profils longitudinaux passant par les verticales de mesures (*Dune Tracking Method*, DTM). Cette méthode permet d'estimer le charriage à partir des caractéristiques morphologiques des dunes. Toutes ces mesures ont été réalisées couplées à un GPS RTK (réseau TERRIA, Exagone).

3. Résultats

Cette étude a permis de confronter une méthode de référence (BTMA) à plusieurs méthodes acoustiques (aDcp, hydrophone, DTM). La vitesse apparente du fond mobile mesurée avec l'aDcp permet de traduire de manière significative les taux de transport ($r^2=0,56$). La courbe de calibration de la Loire semble en adéquation avec les courbes de calibration issues de la littérature du point de vue de la taille des sédiments (Figure 1A). De la même manière, la puissance acoustique mesurée par l'hydrophone est corrélée aux taux de transport ($r^2=0,7$; Figure 1B). La régression du nuage de point issue des mesures réalisées sur la Loire est très proche de la régression issue de l'étude multi-rivières de Geay *et al.* (2020) réalisée principalement dans des rivières à graviers. Ceci vient conforter l'emploi de cette technique pour la mesure du charriage et étendre le domaine d'applicabilité aux rivières sablo-graveleuses. Enfin, les vitesses des dunes sont corrélées de manière moins significative aux mesures BTMA ($r^2=0,36$; Figure 1C). Les vitesses de dunes présentées ici sont les vitesses médianes des dunes le long d'un profil d'environ 400 m centré sur la section de jaugeage. Elles peuvent ne pas être représentatives du transport sédimentaire qui a lieu au niveau de la section de jaugeage. Toutefois, il est intéressant de noter que la vitesse apparente mesurée avec l'aDcp est supérieure à la célérité des dunes d'un facteur 200.



5

Figure 1 : A) Taux de transport unitaires mesurés au préleveur BTMA en fonction de la vitesse apparente mesurée avec l'aDcp, comparaison avec d'autres rivières (Rennie *et al.*, 2017) ; B) Puissance acoustique émise par le charriage sur la gamme de fréquence 15kHz-350kHz, comparaison avec Geay *et al.*, 2020 ; C) Taux de transport unitaires mesurés au préleveur BTMA en fonction de la célérité des dunes (DTM).

Ce travail a permis de conforter l'utilisation des outils acoustiques pour la détermination des flux de sédiments dans les rivières sablo-graveleuses, et laisse entrevoir des perspectives prometteuses pour étudier la distribution spatiale des flux solide de fond et les processus sédimentaires associés.

REFERENCES

- [1] Claude, N., Rodrigues, S., Bustillo, V., Bréhéret, J. G., Macaire J. J., and Jugé, P., (2012). Estimating bedload transport in a large sand-gravel bed river from direct sampling, dune tracking and empirical formulas. *Geomorphology*, 179, 40-57.
- [2] Geay, T., Zanker, S., Misset, C., and Recking, A., (2020). Passive acoustic measurement of bedload transport: towards a global calibration curve? *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125.
- [3] Rennie, C. D., Vericat, D., Williams R. D., Brasington, J., and Hicks, M., (2017). Calibration of acoustic Doppler current profiler apparent bedload velocity to bedload transport rate. *Gravel-Bed Rivers Process Disasters*, 209-233.