

Suivi continu des flux de charriage par acoustique passive dans les rivières alpines de piémont : une validation par comparaison avec des bilans sédimentaires issus de campagnes bathymétriques et de modélisation 1D.

Passive acoustic bedload monitoring in foothills alpine rivers: validation with sediment budgets using bathymetric surveys and 1D modelling.

Jules LE GUERN* (GINGER BURGEAP R&D, Grenoble, France), **Mohamad NASR** (INRAE, Grenoble, France), **Sébastien ZANKER** (EDF Hydro-DTG, Saint-Martin-le-Vinoux, France), **Thomas GEAY** (ONF, Chambéry, France), **Adèle JOHANNOT** (INRAE, Grenoble, France), **Alain RECKING** (INRAE, Grenoble, France).

*auteur correspondant

1. Introduction

La mesure des flux de charriage est un élément essentiel pour comprendre le fonctionnement morphodynamique des cours d'eau. La mesure directe du charriage (par exemple par échantillonneurs) ne permet d'obtenir que des données ponctuelles dont la résolution, spatiale et temporelle, est limitée par le fait que ces outils sont lourds et coûteux à déployer. Les méthodes de mesure indirectes, en particulier la mesure par acoustique passive, ne sont pas soumises aux mêmes contraintes et permettent d'envisager la mesure en continu du charriage.

2. Matériel et méthode

Deux stations de mesure en continu ont été implantées entre 2019 et 2022 : (1) sur le Drac aux portes de l'agglomération grenobloise et (2) sur la Romanche au Bourg d'Oisans. Pour chacune de ces stations, un hydrophone HTI-96 (High Tech Inc.) installé en berge mesure les entrecrocs émis par les particules lors du charriage. Ces hydrophones sont raccordés à des enregistreurs (Wildlife Acoustics) permettant d'échantillonner les données acoustiques à une fréquence de 192 kHz. L'acquisition de données a été paramétrée pour enregistrer 30 secondes de bruit toutes les 10 minutes.

La puissance acoustique mesurée (P_{bank}) a été intégrée entre 2 kHz à 30 kHz, gamme de fréquence où les bruits de charriage sont mesurés. À l'aide d'une calibration, cette puissance acoustique est convertie en flux solide. Cette calibration s'effectue en deux temps. Dans un premier temps, des cartographies acoustiques sont réalisées à partir d'un radeau équipé d'un hydrophone et manœuvré depuis un pont pour écouter l'ensemble de la section de rivière ([1] ; [2] et [5]). La puissance acoustique moyenne sur la section (\bar{P}) peut être exprimée en débit solide unitaire moyen (\bar{q}_s) à partir de l'équation de calibration globale [$\bar{q}_s = f(\bar{P})$] initialement proposée par [1] et confirmée par [5]. Au total, près de 17 cartographies ont été réalisées sur le Drac et 19 cartographies sur la Romanche : une courbe de tarage entre (P_{bank}) et (\bar{q}_s) peut ainsi être établie sur chaque station de mesure et appliquée à la chronique complète de P_{bank} . Cette chronique permet donc *in fine* d'estimer des flux sédimentaires sur toute la période investiguée. Une amélioration de l'estimation de \bar{q}_s par cartographie acoustique a été récemment proposée par [4]. Les auteurs proposent de corriger les effets liés à l'atténuation des ondes acoustiques lors de leur propagation entre le fond de la rivière, où les sons sont émis par le charriage, et l'hydrophone placé sous le radeau en surface. Cette correction utilise un modèle qui permet l'inversion mathématique du signal. De cette manière, la chronique de puissance acoustique en berge permet d'estimer des flux solides soit à partir de la puissance acoustique mesurée (Q_s), c'est-à-dire reçue par le radeau en surface, soit à partir de la puissance acoustique inversée (Q_s^*), c'est à dire émise par les sédiments sur le fond. Des flux sédimentaires peuvent être calculés à partir des deux méthodes et comparés à ceux obtenus par des méthodes plus couramment employées en ingénierie (bilan sédimentaire par bathymétries, modélisation 1D).

3. Résultats

Sur les deux sites d'études, nous disposons de volumes de sédiments estimés à partir de campagnes bathymétriques mais également par modélisation 1D (BedloadWeb) permettant d'estimer la mobilité théorique des sédiments [3]. Les flux sédimentaires évalués à partir de la puissance acoustique mesurée (donc sans application de l'inversion) surestiment dans notre cas les valeurs obtenues par bilan bathymétrique et par modélisation. Les flux

sédimentaires obtenus à partir de la méthode d'inversion permettent de se rapprocher de ces mêmes valeurs. La prise en compte des effets de propagation du son, et en particulier des propriétés d'atténuation qui sont propres à chaque rivière, a donc permis de faire converger les résultats obtenus par les différentes méthodes dans ces deux cas d'étude.

Tableau 1 : Comparaison des volumes annuels de sédiments charriés en fonction des différentes méthodes. ^{*1} moyenne sur la période 2019-2021; ^{*2} moyenne sur la période 1993-2019 [min-max]; ^{*3} moyenne sur 5 sections en amont de la station hydrophone sur la période 2014-2021 (formule de Recking) [min-max]; ^{*4} moyenne sur la période avril 2020-mars 2022; ^{*5} moyenne sur 5 sections en amont de la station hydrophone sur la période 2012-2021 (formule de Recking) [min-max].

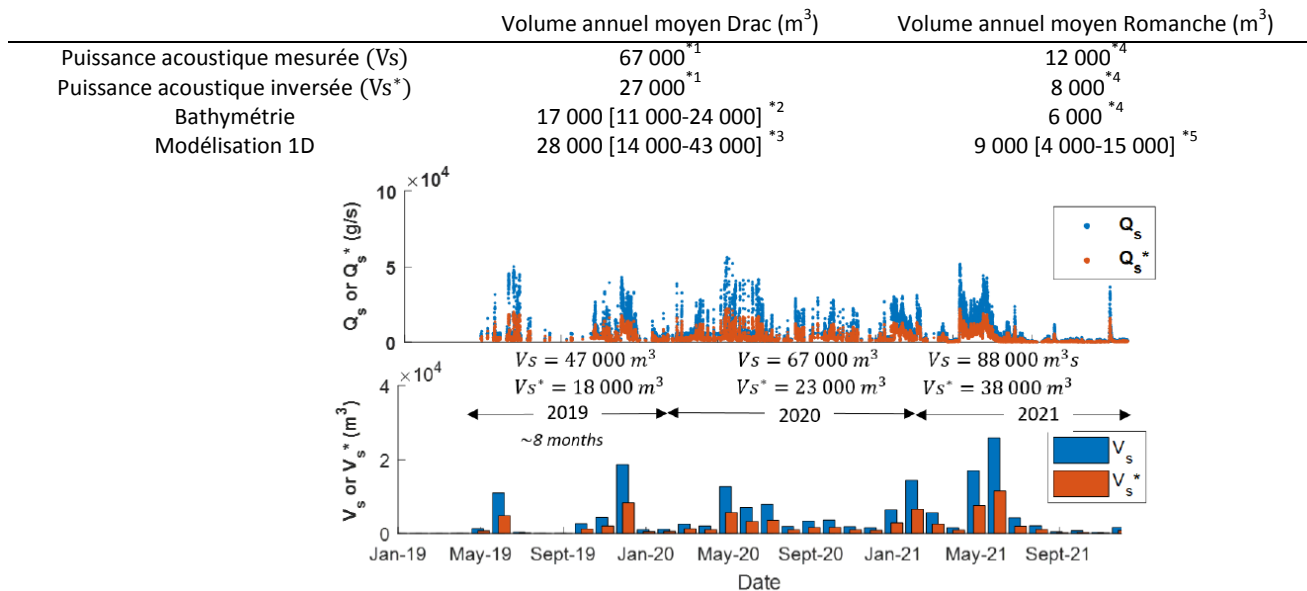


Figure 1 : Chronique du charriage et bilan sédimentaire calculés à partir du signal acoustique mesuré (V_s) et du signal acoustique inversé (V_s^*) sur le Drac (2019-2021) [3].

4. Conclusion et perspectives

Cette étude compare, pour la première fois, des flux sédimentaires obtenus par mesures acoustiques (mesures continue en berge et jaugeages solides par cartographie acoustique) à ceux obtenus par des méthodes plus classiques (bilans bathymétriques, modélisations 1D). Cette comparaison a permis de mettre en évidence l'intérêt de la méthode d'inversion des signaux acoustiques proposés par [3]. Elle permet également de valider l'estimation de flux sédimentaires à partir de mesure par hydrophone, ce qui en fait aujourd'hui un outil opérationnel pouvant être mis en œuvre par les gestionnaires de cours d'eau (suivis de plan de gestion sédimentaire, optimisation du fonctionnement d'ouvrages hydrauliques). Comme pour toute méthode de mesure, en particulier dans le domaine du transport solide, il existe des limitations et des incertitudes liées à son utilisation. À l'avenir, il sera nécessaire de déterminer ces incertitudes pour bien juger des informations fournies par cette nouvelle technique d'observation du charriage.

REFERENCES

- [1] Geay, T., Zanker, S., Misset, C., and Recking, A.: Passive Acoustic Measurement of Bedload Transport: Toward a Global Calibration Curve?, *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 125, 2020.
- [2] Le Guern, J., Rodrigues, S., Geay, T., Zanker, S., Hauet, A., Tassi, P., Claude, N., Jugé, P., Duperray, A., and Vervynck, L.: Relevance of acoustic methods to quantify bedload transport and bedform dynamics in a large sandy-gravel-bed river, *Earth Surf. Dyn.*, 9, 423–444, 2021.
- [3] Nasr, M.: Development of a passive acoustic method for bedload monitoring in rivers, PhD. Thesis, University of Grenoble Alpes, 222 p., 2023.
- [4] Nasr, M., Johannot, A., Geay, T., Zanker, S., Le Guern, J., and Recking, A.: Optimization of passive acoustic bedload monitoring in rivers by signal inversion, *Earth Surf. Dyn.* [preprint], 2023a.
- [5] Nasr, M., Johannot, A., Geay, T., Zanker, S., Le Guern, J., and Recking, A.: Passive Acoustic Monitoring of Bedload with Drifted Hydrophone, *J. Hydraul. Eng.* [accepted], 2023b.