

# Méthodes sismiques pour extraire informations spatio-temporelles à haute résolution sur la physique des crues

## *Seismic methods to gain insights into the physics of floods at high spatio-temporal resolution*

**Florent GIMBERT\*** (IGE INRAE, Grenoble, France), **Marco PIANTINI** (IGE, Grenoble, France), **Alain RECKING** (IGE INRAE, Grenoble, France)

### 1. Introduction

La physique des événements de crue et leur impact sur la morphologie fluviale sont difficiles à étudier avec les techniques de suivi traditionnelles en raison de l'intensité des processus fluviaux. Les rivières en tresses sont particulièrement complexes car les changements morphologiques se produisent à diverses échelles spatiales et temporelles (Ashmore, 1991 ; Bertoldi et al., 2010). Dans ce contexte, les méthodes sismiques permettent l'identification et le suivi de différentes sources de vibrations sismiques du sol produites par le transport sédimentaire, ce qui donne un aperçu du fonctionnement des rivières et leur évolution morphologique.

Dans cette contribution, nous présentons les résultats de l'utilisation d'un réseau sismique dense de 80 sismomètres installé sur un tronçon de 600 m de la Séveraisse (Alpes françaises), où une étude préliminaire a déjà été conduite (Piantini et al., 2021). À l'aide de techniques STA/LTA (Allen, 1978) nous avons détecté systématiquement plusieurs signaux sismiques impulsifs sur le réseau, et que nous interprétons comme étant associés au transport de clusters de sédiments transportés comme charriage. Grâce à l'analyse de phase-delay, nous sommes en mesure de localiser les épisodes à haute résolution temporelle et d'étudier leur dynamique spatiotemporelle par rapport à la morphologie de la rivière. Nos travaux démontrent la capacité unique d'utiliser des réseaux sismiques denses pour mieux comprendre les processus fluviaux qui contrôlent le stockage et le transfert des sédiments dans les rivières en tresses.

### 2. Zone d'étude et crue analysée

La Séveraisse est un cours d'eau alpin dont le bassin versant est situé dans le massif des Ecrins, dans le sud-est des Alpes françaises. Cette étude se concentre sur un tronçon en tresse de 600 m caractérisé par une largeur maximale de 90 m et une pente moyenne de 1% (Figure 2.1). La rivière est facilement accessible pour les observations de terrain et bien équipée : des mesures de débit sont fournies à une résolution de 10 minutes par une station de jaugeage d'Électricité de France (EDF) située sur un pont à environ 200 m en aval du tronçon, tandis qu'une caméra installée sur un affleurement rocheux à environ 70 m au-dessus du chenal couvre la zone d'intérêt et fournit des images en temps réel. Au cours de la période de suivi présentée dans cette étude (1-4 juillet 2019), la Séveraisse a connu des débits d'eau variant entre  $\sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ , qui sont supérieurs au seuil associé à une mobilité totale des sédiments estimé par Bakker et al. (2020) à  $11,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

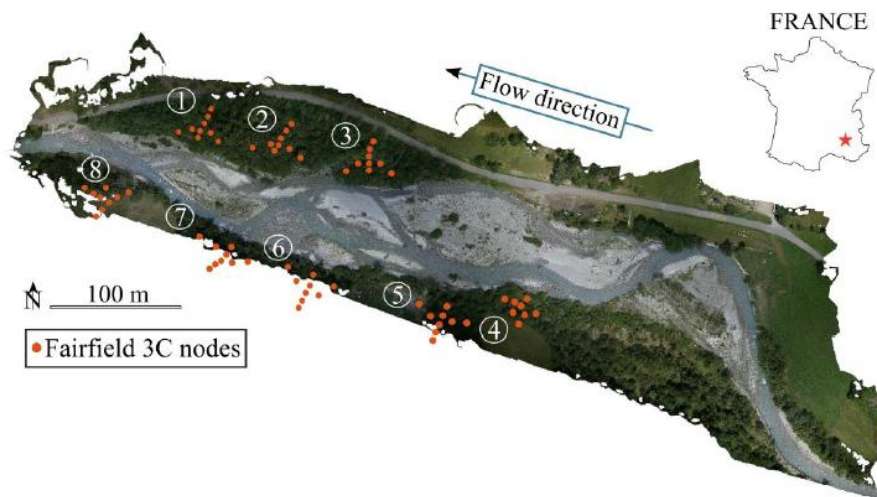


Figure 2.1: Orthophoto of the studied braided reach of the Séveraise River (courtesy of Laurent Borgniet, INRAE; used with permission), including the deployed seismometers.

### 3. Résultats

La méthode STA/LTA nous a permis d'identifier une quarantaine d'événements impulsifs tout au long du réseau sismique (Figure 3.1). Par ailleurs, pour un événement impulsif donné observé par le réseau nous avons mesuré les différences de temps d'arrivée (i.e. les délais) entre chaque combinaison de sismomètres. Ensuite, nous avons construit une grille imaginaire de points superposés à la zone d'étude, et calculé les retards qui seraient générés par des événements situés dans les points de la grille (où chaque point est associé à ses coordonnées spatiales) et associé à une certaine vitesse d'onde. En recherchant les coordonnées spatiales pour lesquels les délais prédits correspondent le mieux aux délais observés, nous avons trouvé que la plupart des événements sont localisés sur une section de la rivière particulièrement active pendant la crue (Figure 3.1). Ces observations confirment les résultats préliminaires acquises par Piantini et al. (2021) qui avaient associé un pique de vibration du sol au mouvement de gros cailloux dans la même zone.

Ces résultats démontrent la capacité de la méthode à mieux comprendre les processus fluviaux qui jouent un rôle important dans le stockage et le transfert des sédiments dans le tronçon de rivière en tresse, ce qui fournit des informations cruciales pour les suivis géomorphologiques et la gestion des risques naturels.

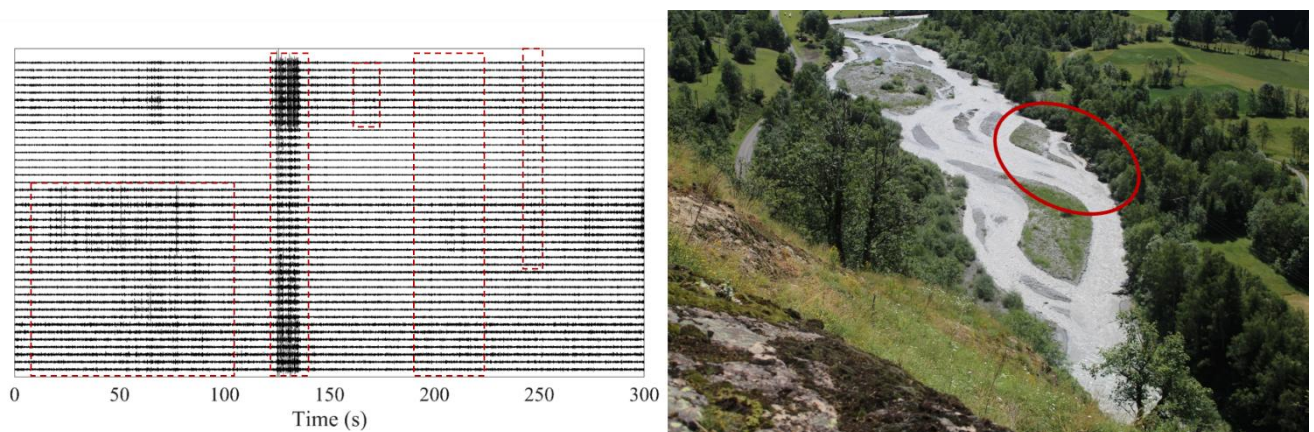


Figure 3.1: (a) Enregistrement temporel des vibrations du sol détectées par le réseau sismique pendant 5 minutes de la crue. Les événements impulsifs principaux sont mis en évidence par des carrés rouges sur chaque enregistrement. L'amplitude du signal sismique est normalisée. (b) Image time-lapse du tronçon en tresse après l'événement de crue. La zone où la plupart des événements impulsifs montrés dans le panel (a) a été localisé.

## REFERENCES

- Allen, R. V. (1978). Automatic earthquake recognition and timing from single traces. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(5), 1521–6. <https://doi.org/10.1785/BSSA0680051521>
- Ashmore, P. E. (1991). How do gravel-bed rivers braid? *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28(3), 326–341. <https://doi.org/10.1139/e91-030>
- Bakker, M., Gimbert, F., Geay, T., Misset, C., Zanker, S., & Recking, A. (2020). Field application and validation of a seismic bedload transport model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125, e2019JF005416. <https://doi.org/10.1029/2019JF005416>
- Bertoldi, W., Zanoni, L., & Tubino, M. (2010). Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river: The Tagliamento River (Italy). *Geomorphology*, 114(3), 348–360. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.07.017>
- Piantini, M., Gimbert, F., Bakker, M., Recking, A., & Nanni, U. (2022) Using a dense seismic array to study fluvial processes in a braided river reach under flood conditions, LHB, DOI:10.1080/27678490.2022.2053314