

Apport de la géophysique pour le suivi hydromorphologique de la restauration d'une rivière alpine : exemple du Drac amont

The contribution of geophysics to the hydromorphological monitoring of an alpine river restoration: example of the upper Drac

Loïs Ribet¹, Frédéric Liébault¹, Laurent Borgniet², Thierry Winiarski³, Gabriel Melun⁴

¹ INRAE IGE, Grenoble, France

lois.ribet@inrae.fr ; frederic.liebault@inrae.fr

² INRAE LESSEM, Grenoble, France

laurent.borgniet@inrae.fr

³ CNRS, UMR 5023 - LEHNA, Vaulx-en-Velin Cedex, France

thierry.winiarski@entpe.fr

⁴ OFB, Vincennes, France

gabriel.melun@ofb.gouv.fr

RÉSUMÉ

Le Drac amont est une rivière en tresse alpine qui s'est fortement incisée sous l'effet des extractions de graviers. Cette incision a été particulièrement marquée sur un tronçon de 3.5 km où d'importants travaux de restauration ont été réalisés en 2014, afin de recréer un lit en tresses, et de recouvrir des argiles lacustres ayant été exhumées suite à l'incision. Malgré le rétablissement effectif d'une dynamique de tressage ou de style divaguant, l'apparition récurrente et ponctuelle d'affleurements d'argile sur le tronçon restauré doit être mieux prise en compte dans l'évaluation de la trajectoire morphologique du site. Il apparaît donc important de caractériser l'épaisseur actuelle du recouvrement alluvial reposant sur ces argiles. Ce travail a pour objectif de présenter les premiers résultats d'une approche géophysique par radar géologique (GPR) dans le suivi hydromorphologique du tronçon restauré du Drac. Un total de 3,5 km de profils GPR ont été acquis simultanément à un vol drone pour localiser le toit des argiles. Les MNT et orthoimage photogrammétriques obtenus permettent la correction altimétrique et une meilleure interprétation des radargrammes. Les résultats préliminaires montrent que cette méthode devrait permettre (1) une bonne évaluation du recouvrement alluvial actuel, et (2) de mieux caractériser les secteurs sensibles au risque de réincision dans les argiles.

ABSTRACT

The upper Drac is an alpine braided river that has been severely incised by gravel mining. The incision was particularly evident on a 3.5 km reach where major restoration work was carried out in 2014, in order to recreate a braided band and cover the lacustrine clays that had been unearthed as a result of the incision. Despite the effective re-establishment of a braided or wandering dynamic, the recurrent appearance of clay outcrops on the restored reach needs to be better taken into account when assessing the morphological trajectory of the site. It is therefore important to characterise the current thickness of the alluvial layer over these clays. The aim of this work is to present the initial results of a geophysical approach using Ground Penetrating Radar (GPR) for the hydromorphological monitoring of the restored reach of the Drac. In total, 3.5 km GPR profiles were surveyed simultaneously with a drone flight to locate the clay roof. The photogrammetric DEM and orthoimage obtained enable altimetric correction and better interpretation of the geophysical profiles. Preliminary results show that this method should enable (1) a good assessment of the current alluvial cover, and (2) a better characterisation of sensitive sectors with regard to the risk of reincision in the clays.

MOTS CLÉS / KEYWORDS

Rivière en tresse, Restauration, Géophysique, Radar géologique, Photogrammétrie SfM

Braided river, Restoration, Geophysics, GPR, SfM Photogrammetry

1 INTRODUCTION

Le Drac dans la vallée du Champsaur (Hautes-Alpes) est une rivière présentant un style morphologique en tresse typique des rivières alpines françaises. Comme la plupart de ces rivières (Piégay et al., 2009; Liébault et al., 2013), le tressage du Drac amont a subi une altération importante au cours du XX^e siècle. Celle-ci s'est notamment traduite par une incision de plus de 4 m au droit d'un plan d'eau artificiel, due à la présence d'argiles lacustres sous la couche alluvionnaire (Montjuvent, 1978). Face au risque de déstabilisation de l'ouvrage, la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont a réalisé des travaux d'urgence sur le secteur en 2014. L'objectif était d'une part de stopper l'incision, et d'autre part de restaurer une dynamique de tressage, à partir de travaux d'élargissement et de recharge sédimentaire du lit. Si la trajectoire morphologique post-restauration a été jugée positive (Brousse et al., 2021; Devreux et al., 2022), malgré les réserves émises sur la restauration des fonctions thermiques (Laval & Guilmin, 2014; Marteau et al., 2022), l'apparition récurrente et ponctuelle d'affleurements d'argile sur le tronçon restauré est régulièrement observée après les crues. Le risque de réincision du lit dans les argiles ne peut être exclu, et il doit faire l'objet d'une analyse spécifique. Il apparaît donc important de mieux prendre en compte le rôle de la structure verticale de la plaine alluviale dans la trajectoire morphologique du tronçon restauré.

Le Radar Géologique (GPR) est un dispositif émetteur-récepteur détectant les discontinuités électriques au sein d'une formation par émission et réception d'ondes électromagnétiques à très haute fréquence (MHz à GHz). Un changement de vitesse significatif de l'onde lors de sa propagation à l'interface de deux milieux provoque sa réflexion vers la surface et son enregistrement par le radar. Un radargramme GPR présente donc ces réflecteurs qui permettent d'interpréter les structures du milieu étudié. Ceci confère au dispositif une grande versatilité d'application en milieu naturel telles que la délimitation d'unité sédimentaire argileuse (Gómez-Ortiz et al., 2010) ou l'identification de structures sédimentaires (Reynolds, 1997; Neal, 2004) renseignant sur le paléo-style morphologique des rivières (Miall, 1996; Słowik, 2015). Dans un cadre de restauration, cela peut aider à déterminer un état ou des dynamiques de références, à atteindre ou non (Dufour & Piégay, 2009).

Ce travail a pour objectif de présenter une méthode originale dans le suivi hydromorphologique des rivières alpines par l'utilisation combinée de profils GPR terrestres et d'un vol drone. Les résultats préliminaires d'une campagne de mesure géophysique récente réalisée sur le Drac amont sont présentés afin (i) d'évaluer le recouvrement alluvial actuel des argiles et de (ii) diagnostiquer le fonctionnement hydromorphologique du site restauré.

2 METHODE

2.1 Site d'étude

Le secteur d'étude est un tronçon de 3.5 km situé à St-Bonnet-en-Champsaur (Hautes-Alpes) et drainant un bassin versant de 340 km². La particularité du tronçon réside dans la présence d'argiles lacustres du Würm, situées sous une couche d'alluvions peu épaisse. Les travaux de restauration, engagés en 2013 et terminés en 2014, ont consisté en une opération d'élargissement de la bande active, en créant une section trapézoïdale de 100 m de large, puis d'une injection sédimentaire massive de plus 350 000 m³ (BURGEAP, 2013) pour stopper l'incision. La rivière présente aujourd'hui une bande active large, à granulométrie grossière, caractérisée par un style morphologique dominé par du tressage, alternant localement avec un style divagant.

2.2 Données

Les relevés géophysiques ont été réalisés en octobre 2023 avec un radar géologique SIR 4000 de GSSI. Le radar géologique était équipé d'une antenne 200 MHz, de manière à atteindre les argiles, dont la profondeur du toit est estimée à 6 m d'après les forages de la Banque du Sous-Sol (BRGM). Au total, ce sont 3,5 km de linéaire de profils, pour 37 radargrammes, qui ont été acquis par section à déport constant. Certains profils longitudinaux ont également été couplés de profils transversaux lorsque des argiles étaient affleurantes. Les coordonnées GPS de ces affleurements ont été systématiquement relevées. Un protocole de traitement a été élaboré d'après Neal (2004) notamment pour filtrer les interférences et appliquer une correction topographique au radargramme.

Les radargrammes ont profité d'une correction topographique fournie par des données topographiques haute-résolution obtenues par photogrammétrie SfM. Un drone Mavic Pro équipé d'une caméra haute-résolution (20

Mpx) et d'un GPS embarqué en liaison avec une base GPS au sol, pour une correction en cinématique temps réel (RTK), a été utilisé pour prendre des prises de vues à une altitude relative de 60 m le jour des levés GPR. Les images ont été traitées sous Agisoft Metashape pour obtenir un MNT (~2 cm/pxl) et une orthoimage (~1.2 cm/pxl) du site. En outre, le tronçon fait régulièrement l'objet de vol LiDAR et drone de sorte que des orthoimages sont disponibles quasi-annuellement sur la période 2014-2024.

3 RESULTATS & DISCUSSION

La Figure 1 présente un exemple d'exploitation de profil géophysique avec le radargramme n°12. Le profil se situe sur un banc en rive gauche, au droit duquel plusieurs affleurements d'argile (Figure 1A) ont été relevés en 2024 suite à son érosion latérale par le chenal principal. La correction topographique du radargramme via le MNT photogrammétrique permet une meilleure interprétation du positionnement des réflecteurs (Figure 1B). La partie amont du radargramme, de 0 à 70 m, est caractérisée par la présence du réflecteur R1, dont l'altitude correspond à celle des affleurements AA2 et AA3. Cette interface est ainsi interprétée comme celle entre les unités sédimentaires U1 et U2, les alluvions du banc et l'argile lacustre respectivement. De 70 à 150 m, R1 est plus profond et est marqué de deux dépressions en forme d'auge. Les orthoimages révèlent que ces parties du radargramme étaient, entre 2018 et 2020, dans le chenal. Ainsi, la première auge appartenait au chenal en 2018 et en 2020 tandis que la seconde auge appartenait au chenal en 2020. Le chenal aurait ainsi excavé l'argile, expliquant la tendance vers l'aval à l'enfoncement de R1 et, se serait ensuite rempli d'alluvions. R2 différencie deux géométries de réflecteurs des alluvions du banc pouvant correspondre à deux formes de dépôts (Gu et al., 2019). La relative horizontalité des réflexions d'U1.2 est interprétée comme le remplissage des chenaux tandis que l'aspect chaotique d'U1.1 est interprété comme l'accrétion latérale d'alluvions au banc.

Ces premiers résultats montrent que le couplage de relevés GPR terrestres et d'acquisition drones a permis de localiser précisément la profondeur du toit des argiles à l'échelle d'un banc. Les relevés GPS des affleurements d'argile lors des campagnes de terrain ont été déterminants pour valider les interprétations du radargramme. De même, les orthoimages disponibles ont permis d'améliorer l'interprétation du dynamisme de la bande active. L'analyse de l'ensemble des données géophysiques devraient permettre de localiser les secteurs les plus sensibles au risque de réincision dans les argiles et de mieux comprendre l'effet de la structure sédimentaire verticale de la plaine alluviale sur la trajectoire morphologique du tronçon restauré.

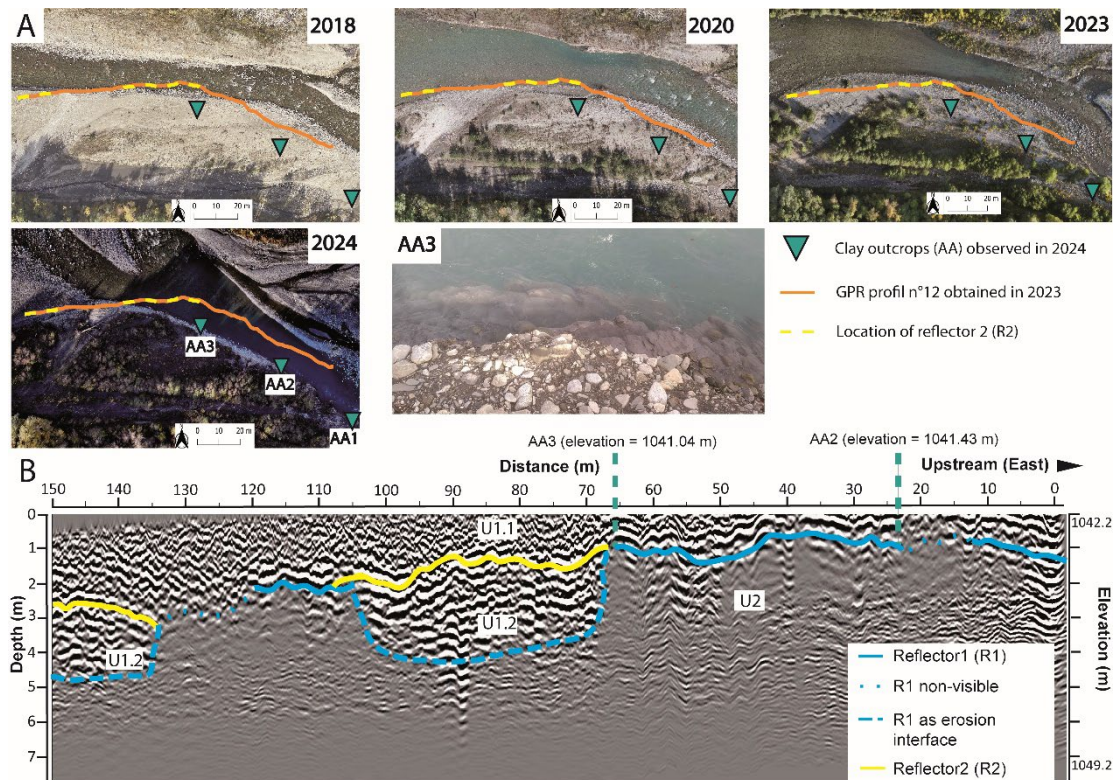


Figure 1 : GPR profile n°12 : (A) Location of the profile, clay outcrops and, morphological changes of the bar. 2020, 2023 and 2024 are photogrammetric orthoimages and 2018 is an aerial view. Flow is right to left ; (B) Profile n°12 interpreted.

BIBLIOGRAPHIE

- Brousse, G., Liébault, F., Arnaud-Fassetta, G., Breilh, B., & Tacon, S. (2021). Gravel replenishment and active-channel widening for braided-river restoration : The case of the Upper Drac River (France). *Science of The Total Environment*, 766, 142517. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142517>
- BURGEAP. (2013). *Travaux de restauration du lit du Drac par élargissement et recharge sédimentaire* (Rapport de phase PRO REAUSE00819-02; p. 237). BURGEAP.
- Devreux, L., Chapuis, M., & Belletti, B. (2022). Hydromorphological analysis on restored Alpine braided rivers. *Geomorphology*, 415, 108404. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108404>
- Dufour, S., & Piégay, H. (2009). From the myth of a lost paradise to targeted river restoration : Forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25(5), 568-581. <https://doi.org/10.1002/rra.1239>
- Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Martín-Velázquez, S., Martínez-Pagán, P., Higuera, H., & Manzano, M. (2010). Application of ground penetrating radar (GPR) to delineate clay layers in wetlands. A case study in the Soto Grande and Soto Chico watercourses, Doñana (SW Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 72(2), 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2010.07.007>
- Gu, Z., Shi, C., Yang, H., & Yao, H. (2019). Analysis of dynamic sedimentary environments in alluvial fans of some tributaries of the upper Yellow River of China based on ground penetrating radar (GPR) and sediment cores. *Quaternary International*, 509, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.001>
- Laval, F., & Guilmin, E. (2014, octobre 6). Upper Drac River restoration project : Restoration of a braided river bed incised in clay substratum through sediment reloading and bed widening. *Oral communication*. SHF conference, Nantes.
- Liébault, F., Lallias-Tacon, S., Cassel, M., & Talaska, N. (2013). LONG PROFILE RESPONSES OF ALPINE BRAIDED RIVERS IN SE FRANCE. *River Research and Applications*, 29(10), 1253-1266. <https://doi.org/10.1002/rra.2615>
- Marteau, B., Michel, K., & Piégay, H. (2022). Can gravel augmentation restore thermal functions in gravel-bed rivers? A need to assess success within a trajectory-based before–after control–impact framework. *Hydrological Processes*, 36(2), e14480. <https://doi.org/10.1002/hyp.14480>
- Miall, A. D. (1996). *The geology of fluvial deposits : Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer.
- Montjuvent, G. (1978). *Le Drac, morphologie, stratigraphie et chronologie quaternaires d'un bassin alpin* [Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot]. <https://theses.hal.science/tel-00441486/>
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology : Principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4), 261-330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- Piégay, H., Alber, A., Slater, L., & Bourdin, L. (2009). Census and typology of braided rivers in the French Alps. *Aquatic Sciences*, 71(3), 371-388. <https://doi.org/10.1007/s00027-009-9220-4>
- Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley.
- Słowik, M. (2015). Is history of rivers important in restoration projects? The example of human impact on a lowland river valley (the Obra River, Poland). *Geomorphology*, 251, 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.031>