

Téledétection hyperspectrale et LiDAR pour le suivi de la bathymétrie du chenal et de la santé des forêts alluviales

Hyperspectral and LiDAR remote-sensing for the monitoring channel bathymetry and the health of riparian forests

Julien Godfroy¹, Jérôme Lejot², Luca Demarchi³, Kristell Michel¹, Hervé Piégay¹

¹ | Univ Lyon, ENS de Lyon, CNRS, UMR 5600 EVS, F69342 Lyon, France
julien.godfroy@ens-lyon.fr ; kristell.michel@ens-lyon.fr ; herve.piegay@ens-lyon.fr

² | Univ Lyon, Université Lumière Lyon 2, CNRS, UMR 5600 EVS, F69342 Lyon, France
jerome.lejot@univ-lyon2.fr

³ | Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wrocław University of Environmental and Life Sciences
luca.demarchi@upwr.edu.pl

RÉSUMÉ

Grâce aux développements technologiques rapides des systèmes aéroportés, les techniques de télédétection fluviale à haute résolution spatiale sont aujourd'hui régulièrement exploitées pour le suivi des cours d'eau et des opérations de restauration, mais elles sont souvent restreintes à des tronçons de faible linéaire. Dans la Basse Vallée de l'Ain (France), elles ont été déployées pour caractériser sur 20 km le chenal et sa bande active avant des opérations de restauration programmées durant l'hiver 2021-2022. Des données LiDAR (Light Detection and Ranging), qui fournissent des informations topographiques et structurales, ont été couplées avec une information hyperspectrale, qui échantillonne très finement le spectre de réflectance. La bathymétrie du chenal a pu être cartographiée en continu avec une précision de 20 centimètres pour des hauteurs d'eau allant jusqu'à 2.5 mètres. Un stress hydrique potentiel a été mis en évidence au sein de placettes de végétation, permettant de visualiser l'influence de l'incision du chenal sur l'état sanitaire de la forêt alluviale à travers une cartographie du stress hydrique.

ABSTRACT

Fluvial remote sensing at a high spatial scale is increasingly used for the monitoring of fluvial systems and river restoration projects, but is often limited to smaller reaches. In the lower basin of the Ain River (France), remote sensing techniques were used to characterize the river channel and its riparian corridor along a 20 kilometres reach, before the start of a restoration project in winter 2021-2022. LiDAR (Light Detection and Ranging) data, which can provide topographic and structural information, were coupled with hyperspectral information, which finely samples the reflectance spectra. A continuous bathymetric map was produced for the study reach with a median error of 20 centimetres for depths up to 2.5 metres. A potential water stress was highlighted for a number of vegetation plots, showing the influence of the incision of the main river channel on the health of the riparian forest with a map of water stress.

MOTS CLES

Bathymétrie, Forêt Riveraine, Stress Hydrique, Télédétection Fluviale

1 INTRODUCTION

Les pressions anthropiques en amont de la Basse Vallée de l'Ain (France) ont conduit à un déficit sédimentaire ainsi qu'à l'incision du chenal. Les enjeux de gestion associés sont multiples : les problématiques du transport solide intersectent celles du renouvellement des forêts riveraines typiques de la rivière d'Ain. Afin de répondre aux enjeux de caractérisation et de suivi de ces milieux, notamment dans le cadre d'opérations de restauration débutant au cours de l'hiver 2021-2022, l'utilisation de techniques de télédétection fluviale émergentes est explorée.

En effet, la télédétection fluviale permet de caractériser les systèmes fluviaux à une échelle spatiale et temporelle fine [Marcus and Fonstad, 2010]. Des données hyperspectrales et LiDAR ont été acquises à cet effet, et permettent de déployer en contexte fluvial des outils souvent utilisés dans le diagnostic des forêts en milieu continental [Dalponte et al., 2008], et qui peuvent permettre de restituer ou prédire la profondeur de la colonne d'eau [Legleiter et al., 2015] et de cartographier les méso-habitats du chenal.

2 MÉTHODE

2.1 Caractérisation de la colonne d'eau

Sur un secteur d'intérêt, 500 points ont été sélectionnés aléatoirement pour calibrer une loi empirique entre le spectre de réflectance de la tranche d'eau issu d'une acquisition hyperspectrale et la profondeur d'eau issue d'un modèle hydraulique 2D produit par INRAE (Riverly) (Figure 1a). Cette loi a ensuite été étendue à l'ensemble du chenal couvert par l'image hyperspectrale.

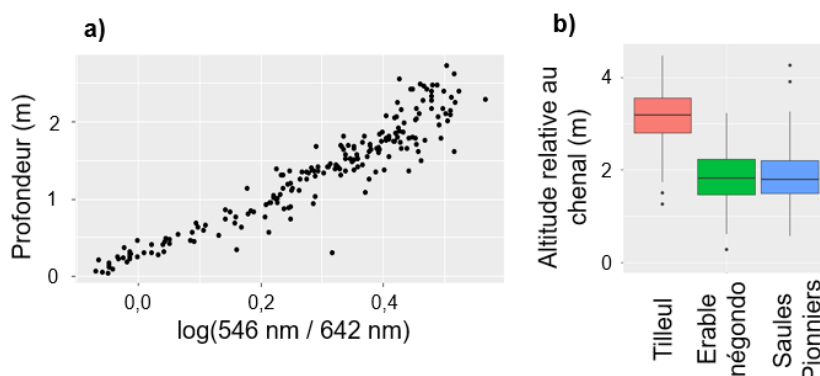


Figure 1: a) Loi linéaire entre la profondeur de la tranche d'eau et le logarithme d'un ratio de bandes spectrales ; b) Préférence stationnelle de taxons arborés en fonction de l'altitude relative de la placette à la ligne d'eau d'étiage

2.2 Caractérisation de la forêt riveraine

Le couplage des données télédéteectées avec des relevés forestiers effectués par l'Office National des Forêts permet de caractériser les conditions stationnelles de placettes de végétation (altitude relative à la ligne d'eau d'étiage, sédimentation) ainsi que des informations structurales et physiologiques sur la forêt riveraine (hauteur des peuplements, teneur en eau de la canopée). Des marqueurs topographiques simples peuvent être reliés à des associations d'essences caractéristiques de milieux plus ou moins humides [Figure 1b]. Les conditions stationnelles humides ou sèches peuvent ainsi être prédites par un algorithme de classification (random forest) à partir des caractéristiques des peuplements riverains extraites des acquisitions LiDAR et hyperspectrales.

3 RÉSULTATS & DISCUSSION

Les données hyperspectrales acquises au module de la rivière d'Ain ($127 \text{ m}^3/\text{s}$) permettent de prédire la bathymétrie sur l'ensemble du chenal principal [Figure 2a], ce qui confirme la portabilité d'une méthode qui n'avait été déployée que sur de petits tronçons fluviaux. L'erreur médiane associée au modèle est de 20 centimètres pour des profondeurs allant jusqu'à 2.5 mètres. La répartition spatiale des erreurs indique qu'elles se situent le plus souvent dans les mouilles les plus profondes du chenal, dans les bras morts lié au développement végétatif de fond de chenal, ainsi que sur certaines parties de l'image affectées par l'ombre portée de la forêt riveraine. Ces erreurs résultent ainsi de la méthodologie employée et des imperfections des jeux de validation.

La prédiction des conditions stationnelles de connectivité au chenal exploite notamment la région spectrale associée à la teneur en eau de la canopée, ainsi que les indices associés. Elle permet de proposer une cartographie de cette connectivité [Figure 2b] basée sur la réponse de la végétation à un stress hydrique potentiel qu'elle rencontre sur les placettes les plus déconnectées du tronçon fluvial, et non plus sur des conditions stationnelles favorisant ce stress, comme l'altitude relative à la ligne d'eau d'étiage. Un gradient de connectivité hydrique amont – aval est ainsi observé. Celui-ci permet de visualiser l'impact de l'incision du chenal et de la mobilité de la rivière sur l'état de santé de la forêt alluviale.

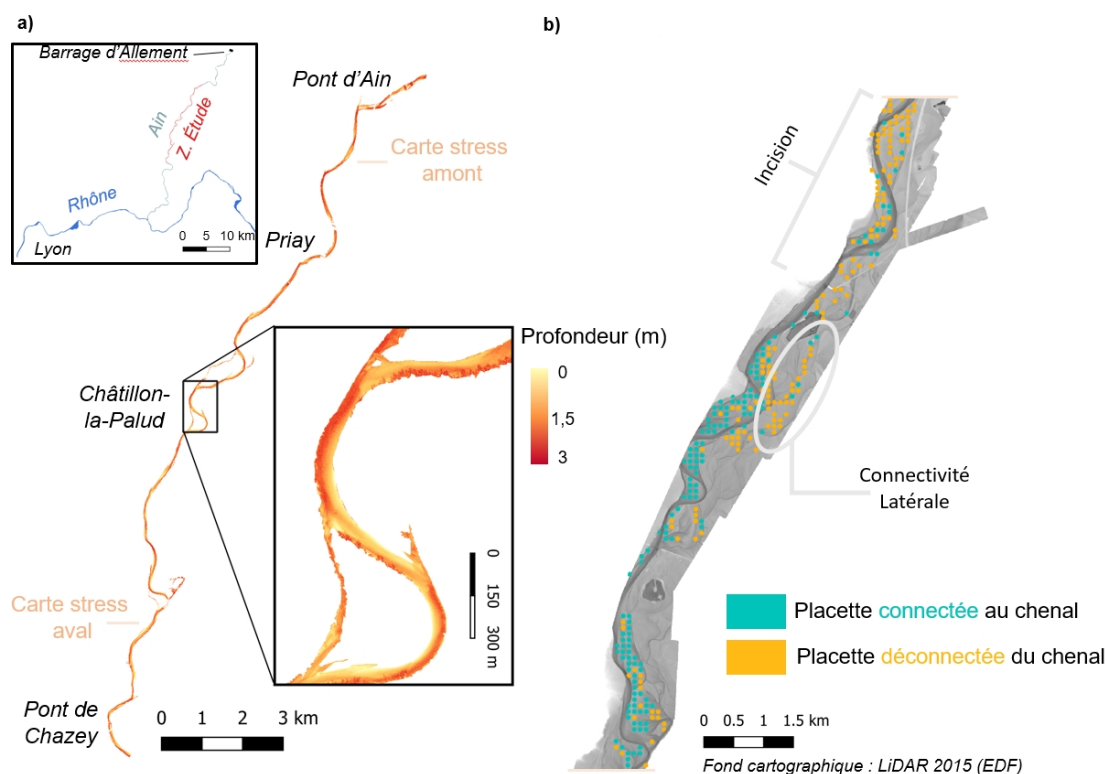


Figure 2 : a) Bathymétrie par télédétection hyperspectrale de Pont d'Ain à Chazey-sur-Ain b) Stress hydrique potentiel et connectivité de la forêt riveraine de la basse vallée de l'Ain

4 CONCLUSION

La télédétection LiDAR et hyperspectrale fournit des informations variées tant sur la colonne d'eau que sur la forêt alluviale et est adaptée à la caractérisation du corridor fluvial sur de longs linéaires. Elle permet donc de répondre à certains enjeux de diagnostic et de suivi des systèmes fluviaux soumis aux pressions anthropiques exercées sur les milieux (déficit sédimentaire, changement climatique, etc.), ainsi que dans le cadre d'opérations de restauration.

De plus, même si ces technologies restent innovantes et parfois difficiles d'accès pour les gestionnaires de rivières, elles permettent d'orienter les efforts de suivi, et sont amenées à se démocratiser. En effet, les techniques de télédétection fluviale ayant émergé en recherche ces vingt dernières années commencent à être transférées vers les syndicats de rivière et les bureaux d'étude.

BIBLIOGRAPHIE (3 MAXIMUM)

- Dalponte, M., Bruzzone, L., & Gianelle, D. (2008). Fusion of hyperspectral and LIDAR remote sensing data for classification of complex forest areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(5), 1416-1427. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.916480>
- Legleiter, C. J., Overstreet, B. T., Glennie, C. L., Pan, Z., Fernandez-Diaz, J. C., and Singhania, A. (2016). Evaluating the capabilities of the CASI hyperspectral imaging system and Aquarius bathymetric LiDAR for measuring channel morphology in two distinct river environments. *Earth Surf. Process. Landforms*, 41: 344–363. <https://doi.org/10.1002/esp.3794>
- Marcus, W.A. and Fonstad, M.A. (2010), Remote sensing of rivers: the emergence of a subdiscipline in the river sciences. *Earth Surf. Process. Landforms*, 35: 1867-1872. <https://doi.org/10.1002/esp.2094>