

Caractérisation bathymétrique et changements morphologiques des lits fluviaux par imagerie hyperspectrale

Depth retrieval and change detection in riverbed topography using hyperspectral imagery

Julien GODFROY* (Univ Lyon, ENS de Lyon, CNRS, UMR 5600 EVS, Lyon, France), **Jérôme LEJOT** (Univ Lyon, Université Lumière Lyon 2, CNRS, UMR 5600 EVS, Lyon, France), **Hervé PIÉGAY** (Univ Lyon, ENS de Lyon, CNRS, UMR 5600 EVS, Lyon, France)

*auteur correspondant

1. Introduction

Restituer la bathymétrie des rivières est crucial pour cartographier les unités géomorphologiques du chenal à l'échelle des mésohabitats ainsi que pour suivre l'évolution des milieux suite à une modification du transport solide (e.g. implémentation ou démolition d'ouvrages, réinjection de sédiments...). Les techniques de télédétection optique, basées sur l'acquisition d'images, permettent de restituer les profondeurs d'eau mais principalement dans des contextes où l'eau est peu turbide, avec peu de turbulence, sur des tronçons restreints et pour un débit donné [1]. Ceci limite leur utilisation pour étudier la morphodynamique des cours d'eau à des pas de temps et des échelles variables. L'imagerie hyperspectrale a récemment émergé comme étant une alternative prometteuse aux images visibles ou multispectrales classiquement employées. En effet, elle semble plus robuste aux conditions d'acquisition (turbidité, débit...) et permet de restituer des profondeurs plus importantes [2]. Dans cette communication, nous présentons une étude de cas sur la basse vallée de l'Ain pour laquelle l'imagerie hyperspectrale nous (1) permet à partir d'un modèle optique de restituer des profondeurs d'eaux pour un débit de basses eaux de référence et (2) sur un linéaire fluvial de 20 kilomètres. Nous appliquons ensuite ces développements méthodologiques à une seconde campagne d'imagerie hyperspectrale afin (3) d'évaluer la potentialité de cette technique à identifier les changements morphologiques survenus sur notre site d'étude et à caractériser sa trajectoire morphodynamique.

2. Matériels et Méthodes

Une série de campagnes hyperspectrales a été acquise à l'échelle de différents tronçons fluviaux de la basse vallée de l'Ain entre septembre 2015 et juillet 2022 [Tableau 1]. Ces données ont été couplées à un modèle hydraulique 2D réalisé à partir d'un LiDAR bathymétrique permettant d'ajuster la profondeur de l'eau aux débits d'acquisition et évaluer l'erreur des modèles produits à l'échelle de la basse vallée de l'Ain. Afin de produire un modèle optique prédisant les profondeurs d'eau pour un débit donné, 500 points ont été sélectionnés aléatoirement sur un secteur d'intérêt et utilisés pour calibrer une loi empirique entre le spectre de réflectance et les profondeurs d'eau tirées du modèle 2D pour le débit correspondant. Les cartographies produites pour les deux campagnes de 2015 ont pu être confrontées afin d'évaluer les incertitudes de la restitution bathymétrique pour différents débits. Le modèle établi pour la campagne acquise par avion a pu être étendu sur l'ensemble du tronçon couvert par les données hyperspectrales afin d'évaluer la portabilité du modèle sur la basse vallée et les erreurs qui lui sont associées. La même méthodologie a ensuite été appliquée sur les images acquises en 2021 et en 2022 afin de détecter les changements morphologiques survenus dans le chenal, et caractériser la trajectoire des sites couverts.

Tableau 1: Campagnes d'imagerie hyperspectrale disponibles sur la basse vallée de l'Ain

| Date | Vecteur | Débit | Linéaire survolé et exploité |
|------------|---------|-------------------------------------|------------------------------|
| 27/09/2015 | Drone | 27 m ³ .s ⁻¹ | 350 m |
| 29/09/2015 | Avion | 127 m ³ .s ⁻¹ | 20 km |
| 18/11/2021 | Drone | 111 m ³ .s ⁻¹ | 120 m |
| 19/07/2022 | ULM | 21 m ³ .s ⁻¹ | 4 km |

3. Résultats

Les données hyperspectrales acquises au module de la rivière d'Ain ($127 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) permettent de prédire les profondeurs de l'eau en conditions de basses eaux, et ce sur 20 kilomètres de linéaire le long de la basse vallée. Ces résultats confirment (1) la capacité des modèles à restituer des profondeurs pour un débit de référence en basse eau (image drone) et (2) son extrapolation sur un plus long tronçon que celui sur lequel le modèle est calé. A l'échelle de la basse vallée, l'erreur médiane associée au modèle oscille entre 15 et 20 centimètres pour des profondeurs allant jusqu'à 2,5 mètres. Les erreurs sont similaires pour les modèles établis sur les images de 2021 et de 2022 et permettent donc (3) d'identifier des changements morphologiques sur certains sites [Figure 1].

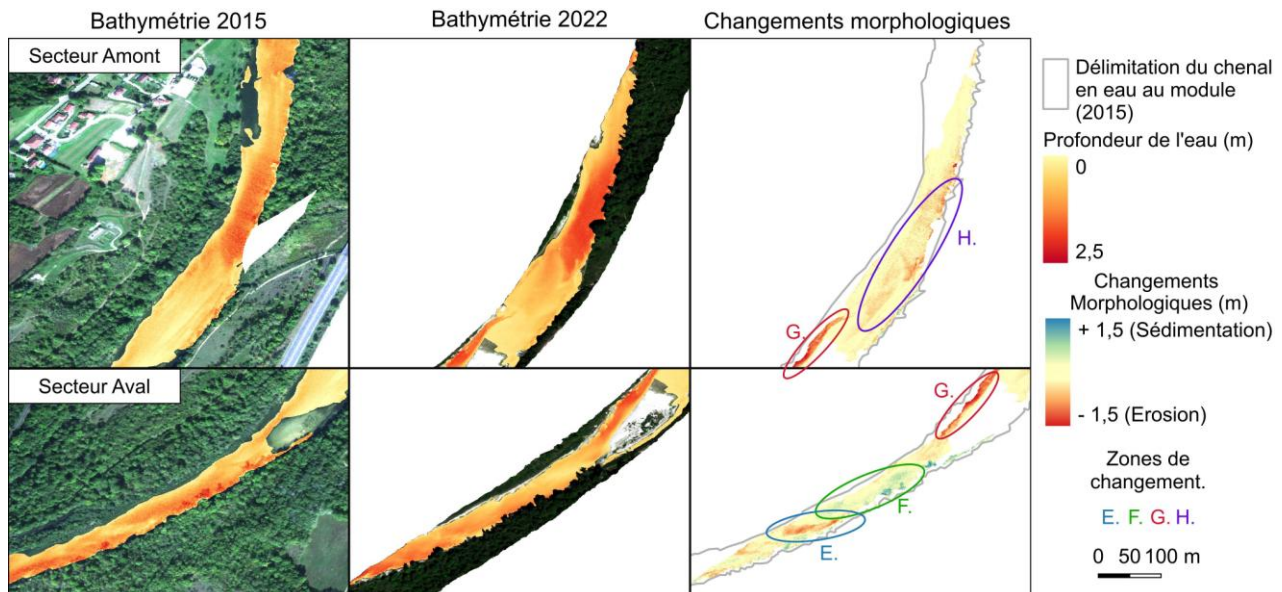


Figure 1 : Changements morphologiques survenus entre 2015 et 2022 sur un tronçon amont de l'Ain.

Les limites des restitutions bathymétriques sont associées aux zones de mouilles ($> 2,5$ mètres) pour lesquelles le manque de données ne permet pas la calibration des modèles. Elles résultent aussi de la présence de zones d'ombre ou sont associées à un développement algal sur le fond du chenal pour lesquelles la profondeur est mal restituée. La comparaison des différentes bathymétries permet d'envisager un suivi morphologique des fonds. Les zones d'érosion et de dépôt sont bien restituées entre 2015 et 2022 mais la mobilité latérale du chenal perturbe la comparabilité des cartographies bathymétriques produites pour chaque date.

4. Conclusion

L'imagerie hyperspectrale permet de restituer les profondeurs d'eau pour un débit de basse eau de référence et est appropriée à la caractérisation de tronçons fluviaux de plus de 10 km de long et au suivi morphologique de certains tronçons, comme l'Ain dans sa basse vallée. Des travaux complémentaires restent encore nécessaires pour évaluer la transportabilité de la méthodologie proposée sur d'autres types de cours d'eau, mais certaines des limites associées à cette technique dans le cas de suivis morphologiques ont déjà été identifiées.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier INRAE (Riverly) et Dimitri Lague pour l'accès au modèle hydraulique 2D, ainsi que EUFAR, Simone Bizzi et Luca Demarchi pour leurs contributions à l'acquisition des données exploitées dans ce travail.

REFERENCES

- [1] Carbonneau, P.E., Lane, S.N., Bergeron, N., 2006. Feature based image processing methods applied to bathymetric measurements from airborne remote sensing in fluvial environments. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 1413–1423. <https://doi.org/10.1002/esp.1341>
- [2] Legleiter, C.J., Fosness, R.L., 2019. Defining the Limits of Spectrally Based Bathymetric Mapping on a Large River. *Remote Sensing* 11, 665. <https://doi.org/10.3390/rs11060665>