

Du smartphone au drone RTK, petites ou grandes rivières, exemples de protocoles de suivi d'érosion de berges.

From smartphone to RTK drone, small or large rivers, examples of riverbank erosion monitoring protocols.

Clément VIRMoux* (Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, Thiais, France), **Frédéric GOB** (Université Panthéon-Sorbonne, Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, Thiais, France), **Emmanuèle GAUTIER** (Université Panthéon-Sorbonne, Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, Thiais, France), **Marion JUGIE** (Vallons de Haute Bretagne Communauté, Guichen, France), **Manon LETOURNEUR** (Syndicat Mixte du Bassin Versant de l'Armançon, Tonnerre, France), **Xavier DUBIEZ** (École Supérieure d'Ingénieurs Géomètres et Topographes Le Mans, France), **Nathalie THOMMERET** (Université Paris-Est Créteil, Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, Thiais, France), **Laurent LESPEZ** (Université Paris-Est Créteil, Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, Thiais, France), **José CALI** (Cnam-ESGT, Laboratoire Géomatique et Foncier, Le Mans, France)

*auteur correspondant

1. Introduction

L'érosion des berges joue un rôle important dans la dynamique fluviale des rivières. Elle contrôle la formation et la migration des méandres, la migration latérale et l'ajustement de la géométrie des chenaux ainsi que la quantité des apports sédimentaires latéraux. L'érosion est un processus géomorphologique complexe issue de la combinaison de trois mécanismes principaux : les mouvements de masse, l'érosion fluviale et l'altération subaérienne (Jugie *et al.*, 2018). L'érosion des berges doit être prise en compte dans la gestion des cours d'eau puisqu'elle est responsable de la perte de terres, de dommages à des ouvrages adjacents au chenal et d'autres altérations au lit de la rivière et à la plaine d'inondation. En même temps, la restauration des cours d'eau repose souvent sur l'enlèvement d'ouvrages de protection de berge afin de favoriser les apports latéraux de sédiments. Dans le cadre de nos travaux sur le transport sédimentaire, notre équipe est amenée à travailler sur des rivières de différentes tailles avec des problématiques d'acquisition de données propres à chaque type de cours d'eau. Les méthodes traditionnelles de suivi d'érosion de berge (tiges d'érosion, profileur électronique de berge) ne permettent pas une résolution suffisante pour estimer le volume de sédiments érodés quand elles ne modifient pas elles-mêmes les processus érosifs. La taille ou l'inaccessibilité de certaines berges excluent aussi l'utilisation de ces méthodes. L'objectif de ce papier est de présenter trois méthodes de caractérisation et quantification de l'érosion de berge basées sur des technologies d'imageries innovantes à l'aide de capteurs grand public.

2. Méthodologie

Nous présentons ici trois exemples de suivi d'érosion de berges sur trois rivières différentes (Fig 1.), deux petites rivières à faible énergie (Morbras et Mérintaise, Ile-de-France, France) et une rivière plus importante (l'Armançon, Yonne, France). Nous avons utilisé des méthodes de la télédétection basées sur la photogrammétrie structure-from-motion (SfM) (prospection pédestre (appareil photo) et aérienne par drone RTK) d'une part et en utilisant le capteur LiDAR intégré dans l'iPhone 13 Pro d'autre part (Luetzenburg *et al.*, 2021).

Sur la Mérintaise (Fig 2.), une seule berge a été suivie par photogrammétrie SfM à partir de photographies prises manuellement depuis le chenal. Sous couvert forestier, des clous d'arpentage levés au théodolite ont servi de points de contrôle. C'est une méthode robuste qui permet d'avoir une haute résolution spatiale mais chronophage (3h d'acquisition), surtout pour le levé des points de contrôle.

Sur l'Armançon, les dimensions (300 m de long et 4 m de haut) et les difficultés d'accès à la berge ne permettent pas un suivi pédestre (Fig 2.). Grâce à l'acquisition de photographies par drone, l'ensemble de la berge a pu être étudié avec un temps d'acquisition réduit à 1h environ. Le drone (Phantom 4 RTK) est équipé d'un GPS différentiel connecté en temps réel à une station fixe du réseau Centipède située à 8km du site, ce qui permet d'atteindre une précision de positionnement de la caméra inférieure à 5 cm. L'acquisition GPS différentiel en temps réel restreint alors le nombre de points de contrôle nécessaires au sol.

Enfin la 3^{ème} méthode qui est en cours d'évaluation sur le Morbras (petite rivière à faible énergie) consiste à utiliser le capteur LiDAR intégré à l'iPhone 13 Pro (Fig 2.). Dans le cadre de la réalisation d'un bilan sédimentaire, ce capteur nous permettra de suivre un grand nombre de berges avec un temps d'acquisition réduit et un matériel léger.

Dans les trois cas, on obtient des nuages de points décrivant la berge à une date donnée. Ces points sont ensuite traités à l'aide des logiciels CloudCompare, en particulier l'algorithme *Multiscale Model to Model Cloud Comparison* (M3C2 ; Lague et Brodu, 2013) pour le calcul de la différence entre deux dates puis ArcGIS Pro pour le calcul de volumes érodés.

3. Résultats

Les méthodes utilisant la photogrammétrie (pédestre ou par drone) fournissent des données à très haute résolution spatiale et permettent d'estimer les volumes de sédiments érodés avec une bonne précision. La précision obtenue par l'acquisition pédestre est la plus élevée (erreur inférieure au centimètre) mais la plus-value apportée par le GPS différentiel en temps réel est très importante que ce soit sur le terrain (peu de points de contrôle sont nécessaires) ou lors du traitement (pas de gestion des points de contrôle pour le géoréférencement) pour une précision suffisante compte tenu des volumes érodés sur l'Armançon. Le test du capteur LiDAR nous permettra d'évaluer si celui-ci est suffisamment précis pour mesurer des reculs de berges sur des rivières à faible énergie. L'enjeu est également de pouvoir tester le filtrage de la végétation, ce qui est un frein à l'utilisation de la photogrammétrie sur un certain nombre de berges.

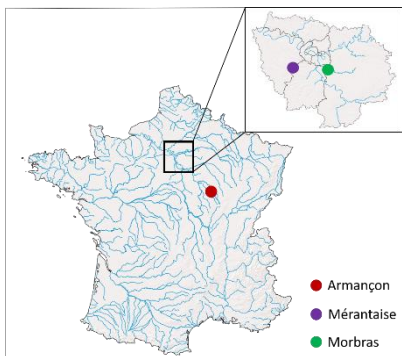


Figure 1. Carte de localisation des berges mesurées.



Figure 2. Photographies des différents protocoles d'acquisition. A : Photogrammétrie SfM pédestre sur la Mérantaise. B : Photogrammétrie SfM par drone RTK sur l'Armançon. C : Acquisition LiDAR sur le Morbras.

REFERENCES

- [1] Jugie, M., Gob, F., Vermoux, C., Brunstein, D., Tamisier, V., Le Coeur, C., & Grancher, D. (2018). Characterizing and quantifying the discontinuous bank erosion of a small low energy river using Structure-from-Motion Photogrammetry and erosion pins. *Journal of hydrology*, 563, 418-434.
- [2] Luetzenburg, G., Kroon, A. & Bjørk, A.A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11.
- [3] Lague, D., Brodu, N., Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). *Journal of photogrammetry and remote sensing*, 82, 10-26.