

## **Méthodes d'estimation de la granulométrie de tronçons restaurés de grands fleuves : potentialités et limites**

Methods of grain size estimation in restored reaches of large rivers: potentiality and limitations

V. Chardon<sup>1,2</sup>, L. Schmitt<sup>1</sup>, H. Piégay<sup>2</sup>, J. Houssier<sup>1</sup>, D. Lague<sup>3</sup>, A. Clutier<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CNRS UMR 7362 LIVE-ENGEES-Université de Strasbourg

([valentin.chardon@live-cnrs.unistra.fr](mailto:valentin.chardon@live-cnrs.unistra.fr))

<sup>2</sup> CNRS UMR 5600 EVS-ENS de Lyon

<sup>3</sup> CNRS UMR 6118 Géosciences Rennes- Université Rennes1

<sup>4</sup> EDF – CIH – Savoie Technolac

### **RÉSUMÉ**

Depuis 2010, des actions de restauration (recharges sédimentaires artificielles et érosions maîtrisées de berges) ont été menées sur le Vieux Rhin. L'objectif est de diversifier les habitats par une redynamisation du transit de la charge de fond. Un suivi granulométrique a été réalisé sur un tronçon de quatre kilomètres de long pré et post-injection de deux cordons sédimentaires, afin d'évaluer les évolutions granulométriques résultantes en conditions immergées et émergées. Ce travail s'appuie sur des acquisitions par photographie et film subaquatiques haute définition et un levé LiDAR topo-bathymétrique. Les résultats montrent que ces deux techniques permettent d'estimer avec fiabilité la granulométrie du chenal et peuvent être utilisées de manière complémentaire pour évaluer les évolutions granulométriques de tronçons restaurés en grande rivière. La technique par photographie offre l'avantage de prospecter des zones immergées pouvant être profondes (1 à 4 m), tandis que la technique par LiDAR aéroporté topo-bathymétrique permet d'obtenir une caractérisation granulométrique surfacique complète des macroformes émergées.

### **ABSTRACT**

Since 2010, several restoration actions have been conducted on the Old Rhine River (gravel augmentation and controlled bank erosion). The objective is to diversify habitats by bedload reactivation. A monitoring by digital photography and subaquatic film has been carried out on four kilometers before and after two gravel augmentations to survey the grain size evolutions. A grain size characterization of an emerged bar was also tested by airborne LiDAR topo-bathymetric through a roughness metrics. Results show that these two techniques provide accurate grain size estimation and are complementary to estimate grain size evolutions in both emerged and submerged active channels for large rivers. The digital photography technique offers the advantage to sample deep submerged areas (1 à 4m), whereas the LiDAR topo-bathymetric technique provides a complete areal grain size estimation for emerged fluvial macroforms.

### **MOTS CLES**

Granulométrie, Photographie, LiDAR topo-bathymétrique, Restauration, Suivi

## 1 INTRODUCTION

Le Vieux Rhin est un chenal court-circuité de 50 kilomètres de long à l'aval du barrage de Kembs. Il présente d'importantes altérations écologiques consécutives à trois phases d'aménagements et divers ajustements hydro-morphologiques : contraction, incision, stabilisation, armurage, simplification des formes fluviales, etc. Depuis 2010 des actions de restauration ont été menées dans le cadre d'un projet transfrontalier INTERREG et par Electricité de France : trois injections sédimentaires (volume total de sédiments injecté : 66 000m<sup>3</sup>) et trois érosions maîtrisées de berge (linéaire de 300m chacun). Un suivi granulométrique a été réalisé en aval et au droit de deux injections sédimentaires situées à l'extrémité amont du Vieux Rhin.

L'objectif de cette communication est de présenter un premier retour d'expérience de nouveaux protocoles d'acquisition et de traitement des données pour évaluer les évolutions granulométriques de secteurs restaurés de grandes rivières, en conditions émergées et immergées.



Figure 1. Travaux d'injection des matériaux (a), dépôt résiduel après le premier épisode hydrologique (Q<sub>4</sub>) (b), photographie d'un dépôt émergé (c).

## 2 METHODES

Un suivi granulométrique annuel a été réalisé sur un linéaire de 4 kilomètres par photographie en milieu émergé et immergé et par film subaquatique haute définition entre 2015 et 2017. Le suivi repose sur des profils en travers équidistants de 60 mètres en zone immergée et de 10 à 15 mètres en zone émergée. Les données ont été acquises à l'aide d'une caméra GoPro HERO4 Black lors de plongées et d'un appareil photographie OLYMPUS TG-4 couplé à un système de perche télescopique. Le logiciel VirtualDub a été utilisé pour extraire des images à partir des films subaquatiques. Une analyse granulométrique a également été réalisée à partir d'un nuage de points en trois dimensions de densité variable (~50 pts/m<sup>2</sup> en moyenne en zone émergée) issu d'un survol topo-bathymétrique effectué en 2017 (Capteur Optech Titan). Le d<sub>50</sub> des faciès échantillonnés varie entre 20mm et 110mm.

Trois méthodes de traitement ont été testées :

1. Un traitement manuel des photographies par digitalisation selon une grille d'une maille régulière et égale au diamètre maximal observé (*méthode 1*).
2. Un traitement automatique des photographies par ondelettes (Buscombe 2013). Un contrôle entre granulométrie observée (digitalisation manuelle) et prédite a été effectué sur un échantillon d'images (n=18) suivant les recommandations de Barnard et al. (2007) (*méthode 2*).
3. Un traitement automatique du nuage de points issu du levé topo-bathymétrique afin de déterminer un indice de rugosité (*rh*) (Vázquez-Tarrío et al., 2017) (*méthode 3*).

Ces résultats ont été calibrés avec des échantillonnages manuels de type Wolman 100 tronqués à 8mm (Tableau 1).

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les trois méthodes de traitement montrent de fortes corrélations avec les percentiles mesurés par prélèvements manuels (Tableau 1). Les lois empiriques obtenues permettent d'estimer avec fiabilité la distribution granulométrique observée.

	<b>Méthode 1</b>	<b>Méthode 2</b>	<b>Méthode 3</b>
	Traitement manuel par grille – photographie (n=14)	Traitement automatique - photographie (n=10)	Indice de rugosité LiDAR (n=12)
	Émergé – Immergé	Émergé	Émergé
<b>d<sub>5</sub></b>	0,43 p-value = 0,011	0,31 p-value = 0,092	0,52 p-value = 0,008
<b>d<sub>16</sub></b>	0,74 p-value < 0,0001	0,78 p-value < 0,001	0,66 p-value < 0,001
<b>d<sub>25</sub></b>	0,83 p-value < 0,0001	0,84 p-value < 0,001	0,68 p-value < 0,001
<b>d<sub>50</sub></b>	0,76 p-value < 0,0001	0,89 p-value < 0,0001	0,89 p-value < 0,0001
<b>d<sub>84</sub></b>	0,75 p-value < 0,0001	0,93 p-value < 0,0001	0,92 p-value < 0,0001
<b>d<sub>95</sub></b>	0,80 p-value < 0,0001	0,90 p-value < 0,0001	0,77 p-value < 0,001

Tableau 1. Coefficients de détermination entre les percentiles estimés par chacune des trois méthodes de traitement et ceux mesurés par échantillonnage manuel.

Des tests de sensibilité ont été réalisés afin d'évaluer (1) l'impact du tri granulométrique sur les estimations issues des traitements automatiques des photographies, (2) la représentativité de la granulométrie mesurée sur une photographie en fonction de la superficie échantillonnée sur un patch granulométrique et (3) sur le diamètre optimal du noyau pour calculer l'indice de rugosité.

Les résultats montrent qu'une sur-segmentation apparaît systématiquement lors des traitements automatiques des photographies. Celle-ci est corrigée par régression linéaire. La variabilité granulométrique liée à la taille de la fenêtre d'observation est faible lorsque le rapport de la surface totale de la photographie sur la surface de la plus grosse particule visible est supérieur à 20 (écart-type moyen < à 4mm pour les déciles inférieurs au  $d_{50}$  ; écart-type moyen < à 7mm pour les déciles supérieurs au  $d_{50}$  ; pour un  $d_{50}$  moyen de 42mm). La taille optimale du noyau pour calculer l'indice de rugosité est égale à 2 fois le diamètre maximal identifié ( $D_{max} = 250\text{mm}$ ). Cette valeur est identique à celle utilisée par Vázquez-Tarrío et al., 2017.

Des travaux complémentaires sont en cours pour identifier des indicateurs permettant de diminuer les temps de traitements manuels et tester d'autres indices de rugosité.

## 4 CONCLUSION

Des acquisitions par photographies terrestres et en plongée, film subaquatique et par LiDAR topobathymétrique aéroporté ont été utilisées pour caractériser les évolutions granulométriques post-restauration en zone émergée et immergée. Les résultats issus de ces techniques d'acquisitions sont robustes. Leur association permet de prospecter la totalité de la section de chenaux de grands fleuves et de réduire drastiquement les temps d'acquisition, tout en augmentant les surfaces suivies. A l'avenir, des cartographies exhaustives d'habitats pourront être réalisées sur l'ensemble du tronçon restauré, ce qui permettra de suivre leurs dynamiques spatio-temporelles. La technique du LiDAR topobathymétrique aéroporté offre d'importantes perspectives en permettant de suivre simultanément les évolutions morphologiques et granulométriques. Il est possible, sur cette base, d'alimenter des indicateurs granulométriques et morphologiques pour évaluer l'efficacité et la durabilité des actions de restauration.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barnard, P.L., Rubin, D.M., Harney, J., and Mustain, N. (2007). Field Test Comparison of an Autocorrelation Technique for Determining Grain Size Using a Digital 'beachball' Camera versus Traditional Methods. In: *Sedimentary Geology* 201 (1-2):180–95.
- Buscombe, D. (2013). Transferable Wavelet Method for Grain-Size Distribution from Images of Sediment Surfaces and Thin Sections, and Other Natural Granular Patterns. In: *Sedimentology* 60 (7):1709–32.
- Vázquez-Tarrío, D., Borgniet, L., Liébault, F., and Recking, A. (2017). Using UAS Optical Imagery and SfM Photogrammetry to Characterize the Surface Grain Size of Gravel Bars in a Braided River (Vénéon River, French Alps). In: *Geomorphology* 285 (May):94–105.