

Mise en place d'un protocole de mesure granulométrique par image subaquatique et suivi des effets de la restauration écologique du Rhône

Implementation of a granulometric measurement protocol using underwater imagery and monitoring of the effects of ecological restoration of the Rhône

Elisa THAS¹, Véronique BENACCHIO², Christophe MORA¹, Stéphane GUERIN¹,
Christophe MOIROUD¹, Hervé PIEGAY³, Alain CRAVE⁴

¹CNR – 2, rue André Bonin – 69316 LYON – elisa-externe.thas@cnr.tm.fr

²Styx4D – 12, allée du lac de Garde – 73370 LE BOURGET-DU-LAC –
veronique.benacchio@styx4d.com

³Université de Lyon – CNRS UMR 5600 Environnement Ville Société –
herve.piegay@ens-lyon.fr

⁴Université de Rennes – CNRS UMR 6118 Géosciences Rennes –
alain.crave@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Les aménagements anthropiques présents sur le Rhône ont perturbé son fonctionnement hydrosédimentaire (Rossignon et al., 2019 ; Donati et al., 2020). Les années 90 ont conduit à l'élaboration d'un programme de restauration écologique dont un des objectifs actuels est de redonner une dynamique morphosédimentaire au fleuve pour diversifier et améliorer la qualité biologique du milieu. Les opérations concernent la suppression des ouvrages Girardon, l'ouverture de bras secondaires déconnectés et des réinjections sédimentaires (CNR GRAIE-OHM, 2023). Ce travail s'inscrit dans le suivi opérationnel de la restauration, conduit par CNR, afin d'évaluer son impact sur l'hydromorphologie du chenal et plus particulièrement les habitats et biocénoses aquatiques. Dans ce cadre, un protocole d'analyse de la granulométrie du fond du chenal principal du Rhône est proposé.

Des données granulométriques ont été collectées par caméra subaquatique et traitées automatiquement via une IA développée par Styx4D. La présente contribution vise, dans un premier temps, à déterminer les principales erreurs commises lors du traitement automatisé en vue de son amélioration. La deuxième étape concerne l'optimisation du protocole, en allégeant un plan d'échantillonnage maximisé, tout en conservant un maximum d'informations, afin de limiter la durée d'acquisition et de traitement des données. Les résultats obtenus permettront de poursuivre un travail de recherche en thèse, portant sur les modifications morphologiques induites par les actions de restauration, la thermie du fond du chenal et l'évolution des habitats devant permettre in fine de cerner une réponse biologique.

ABSTRACT

Anthropogenic developments on the Rhône have disrupted its hydrosedimentary functioning (Rossignon et al., 2019; Donati et al., 2020). The 1990s saw the development of an ecological restoration program, one of the current aims of which is to restore the river's morphosedimentary dynamics, enabling diversification and an improvement in the biological quality of the environment. Restoration operations involve removing the Girardon structures, opening up disconnected secondary channels and reinjecting sediment (CNR GRAIE-OHM, 2023). This work forms part of the operational monitoring of the restoration, carried out by CNR, in order to assess its impact on the hydromorphology of the channel, and more specifically on aquatic habitats and biocenoses. In this context, a protocol for analysing the granulometry of the bottom of the main channel of the Rhône is proposed.

Granulometric data were collected using an underwater camera and processed automatically using an AI developed by Styx4D. The present contribution firstly aims to determine the main errors made during automated processing with a view to improving it. The second stage involves optimizing the protocol, by streamlining a maximized sampling plan, while retaining as much information as possible, in order to limit data acquisition and processing time. The results obtained will be used to carry out further research as part of a thesis on the morphological changes brought about by the restoration work, the temperature at the bottom of the channel and changes in habitats with a view to identifying a biological response.

MOTS CLÉS

caméra subaquatique, granulométrie sédimentaire, IA, plan d'échantillonnage, restauration écologique
underwater camera, sediment granulometry, AI, sampling plan, ecological restoration

1 TEST D'UNE IA POUR L'INTERPRETATION GRANULOMETRIQUE DE PHOTOS SUBAQUATIQUES

1.1 Acquisition des images par caméra subaquatique

L'acquisition de photos subaquatiques sur le Rhône, présente certaines difficultés liées au chenal profond et courant. Les méthodes de prospections habituelles (drague) en lit profond manquent de précision (Parrot, 2015). Dans notre cas, une caméra est fixée sur un cadre gradué de manière à mesurer les particules. Sur Chautagne, nous avons réalisé 5 points équidistants par transects, ces derniers étant espacés de 50 m sur un linéaire de 1,5 km. Pour chaque point, trois photos sont prises afin d'augmenter le nombre de particules par point. Ce protocole nous a permis d'obtenir 465 photos.

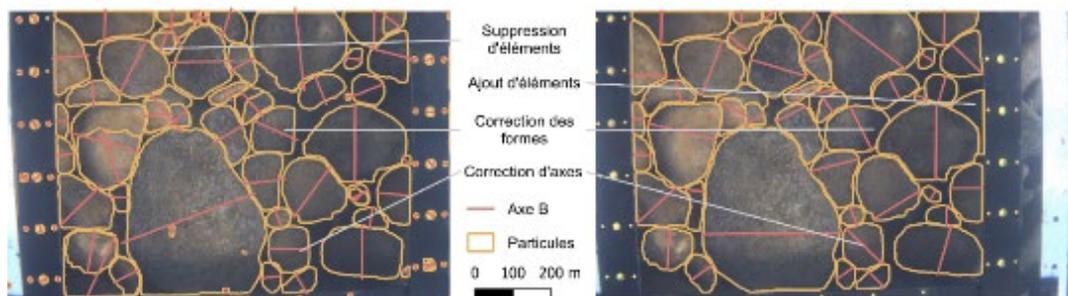


Acquisition des images sur le terrain (Thas, 2024).

1.2 Traitement automatique des images par l'outil GALET (Styx4D)

GALET v2 est un outil de granulométrie automatisée par IA, en cours de développement chez Styx4D. Créé pour du traitement d'images de bancs émergés, il est en cours d'adaptation pour segmenter des images prises sous l'eau. L'annotation des images du Rhône a été testée en suivant une méthode similaire à celle utilisée pour la construction du jeu de données d'apprentissage de GALET v2. La stratégie combine SAM-HQ (Ke et al., 2023), un modèle de segmentation capable de discriminer les objets présents dans une image (sans distinction de leur nature), et RAM (Huang et al., 2023), un modèle de classification des images, spécifiquement réentraîné pour reconnaître les galets. Bien que cette méthode soit sujette à des erreurs, telles que des sur-segmentations ou des fausses détections, elle permet d'automatiser une grande partie du processus de segmentation des particules. Le masque et les axes B de chaque particule ont été fournis au format SHP, afin de pouvoir appliquer des corrections manuelles sous SIG. Les longueurs estimées des axes B sont présentées dans les tables attributaires, ce qui permet d'étudier directement la distribution granulométrique de l'image.

La correction manuelle des images permet de vérifier la qualité des traitements réalisés par l'IA. Une étude est menée sur 10 images soit 1 077 galets, les résultats sont comparés à ceux obtenus par l'IA. Trois types de corrections ont été effectuées :



Images subaquatiques avant/après correction (Thas, 2024).

- Correction des formes : Ajustement des grains lorsque leur surface est surestimée/sous-estimée. Cela concerne 12 % des galets présents sur les 10 images corrigées. L'écart maximum enregistré entre la forme tracée automatiquement et manuellement concerne les plus petites particules et atteint 19 %. Ces écarts entre les formes automatiques et manuelles sont principalement liés aux jeux de lumières et à la superposition des particules (Langhammer et al., 2017).
- Correction des axes : Ajustement des axes B. On observe une tendance à la surestimation des axes B tracés par l'IA (73 % des cas). Toutefois, les écarts mesurés entre les corrections automatiques et manuelles sont faibles, c'est-à-dire inférieurs à 10 % dans 85 % des cas.

- Correction des détections de particules : Suppression des fausses détections et ajout des grains non détectés. La majorité des erreurs du logiciel concerne cette étape (38 %), notamment les grains de petites tailles. La moitié des particules supprimées mesurent moins de 8 mm et 61 % d'entre elles moins de 10 mm ce qui démontre le manque de fiabilité de l'outil GALET dans la détection des petites particules. Ces mauvaises détections sont principalement liées à la présence de matières en suspension et de coquillages qui sont confondus à des grains.

1.3 Conclusion et perspectives

À l'heure actuelle, les résultats automatiques testés ont nécessité un post-traitement manuel obligatoire pour l'ajout et la suppression d'éléments sur l'image. Malgré les erreurs du traitement automatique, la méthode testée offre des perspectives d'étude intéressantes dans le cadre du déploiement des caméras subaquatiques sur tout le linéaire du Rhône pour potentiellement évaluer les effets des réinjections sur les patrons granulométriques du fond du lit.

Dans un premier temps, Galet v2 a été optimisé pour la détection en milieu exondé (détection des particules les plus petites, segmentation des dépôts de sédiments fins, travail sur des distributions granulométriques hétérogènes et des images à résolution plus grossière), par rapport à la v1. Il permet dorénavant de segmenter les images en eau peu profonde avec efficacité. Une phase d'adaptation spécifique aux images immergées est en cours, dans l'optique de caractériser la granulométrie des milieux aquatiques. Le réentrainement du modèle d'IA, basé sur la stratégie évoquée ci-dessus, est nécessaire pour optimiser la discrimination des algues, biofilms, coquilles, reflets, etc. Une réflexion sur le système d'acquisition des images lui-même est également en cours (type de capteur, vecteur, etc.) pour optimiser les prises de vue et garantir la meilleure qualité des traitements.

2 OPTIMISATION DU PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

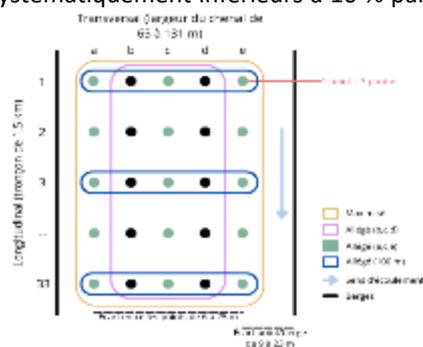
2.1 Élaboration d'une base de données sur l'axe B

Le plan d'échantillonnage maximisé permet une bonne représentation des hétérogénéités transversales et longitudinales. En revanche, pour des questions de coûts matériels et humains, il ne peut pas être déployé à grande échelle. Sur l'entièreté du Vieux Rhône de Chautagne, l'application du plan maximisé demanderait environ 10 jours de terrain et le traitement de 2 480 photos. Pour alléger ce plan d'échantillonnage, une base de données centrée autour des axe B bruts des sédiments est constituée. L'allègement transversal est distingué de l'allègement longitudinal afin d'identifier leur impact respectif sur les résultats.

2.2 Allègements longitudinaux et transversaux

En longitudinal, les tests d'allègements sont réalisés avec des profils espacés de 50 m à 300 m. C'est à partir de l'espacement de 300 m qu'on obtient des variations du D50 et du D84 par rapport au maximisé comprises entre 10 et 15 %. Pour le D16, les plans allégés longitudinaux ont des écarts systématiquement inférieurs à 10 % par rapport au plan maximisé. Ces pertes de données sur le D16, D50 et D84 sont faibles dans le cadre d'une étude sur le transport solide. En revanche, des profils tous les 100 m restent plus pertinents pour rendre compte de la mosaïque des habitats.

En transversal, deux tests d'allègements ont été réalisés (plan « a,c,e » et « b,c,d ») qui favorisent respectivement les bordures ou le chenal. Les variations des plans allégés par rapport au maximisé sont en moyenne comprises entre 6 et 10 %. Le plan allégé « b,c,d » semble plus adapté que le plan « a,c,e » (61 % des résultats de « b,c,d » sont plus proches du maximisé).



Schémas des plans d'échantillonnages (Thas, 2024).

2.3 Conclusion et perspectives

A l'avenir, il pourrait être envisagé un échantillonnage spatialement ciblé pour une étude sur les habitats aquatiques afin de mieux prendre en compte les variations morphologiques observées localement (visite de terrain, évolution bathymétrique). Dans le cadre d'une étude sur le transport solide, il devrait être possible d'alléger davantage l'échantillonnage.

3 LES PERSPECTIVES OFFERTES DANS L'ETUDE DES EFFETS DES OPERATIONS DE RESTAURATION

Dans la continuité de ces premiers travaux, CNR souhaite poursuivre les investigations sur l'évolution hydromorphologique des milieux restaurés grâce à une thèse. L'enjeu est de mieux caractériser les modifications d'habitat à l'aide de plusieurs indicateurs puis de vérifier leurs effets sur la faune benthique et la végétation aquatique. Trois grandes thématiques seront abordées.

3.1 Modifications morphologiques liées aux opérations de restauration

Les modifications morphologiques induites par les actions de restauration peuvent être de plusieurs types :

- Reprise des érosions latérales avec reprise des matériaux stockés sur les marges alluviales libérées ;
- Déplacement de la charge alluviale grossière réinjectée ;
- Création de nouvelles formes fluviales de type radier ou banc alluvial.

Pour mettre en évidence les évolutions morphologiques du fleuve induites par les opérations de restauration, cet axe est étudié à partir de plusieurs états topo-bathymétriques (état initial, post travaux, post crue). La comparaison des différents MNT permet de bien décrire les évolutions du chenal principal et sert de base de réflexion pour les autres thématiques de l'étude.

3.2 Thermie de la masse d'eau

La simplification morphologique, la disparition du matelas alluvial et des phénomènes de colmatage associés, la disparition des faciès de type radier, sont des éléments de dégradation thermique des cours d'eau. Ce travail contribue à comprendre les effets des travaux de restauration sur le compartiment thermique et plus spécifiquement les échanges entre la masse d'eau contenue dans le matelas alluvial et la masse d'eau superficielle. En s'appuyant sur l'étude des modifications morphologiques, des mesures de température ciblées permettront de cerner d'éventuels gains thermiques (présence de tâches d'eau froide en été), en aval des zones de recharge.

3.3 Compartiments biologiques, faune benthique et végétation riveraine

Ce dernier axe pointe les effets des modifications observées précédemment en termes d'amélioration potentielle de l'habitat physique. Cela permettra de mieux cerner les secteurs influencés par les opérations de restauration et de disposer de descripteurs physiques qui serviront à la définition d'un protocole d'échantillonnage pour analyser la réponse de la faune benthique. C'est un moyen de mieux cerner le gain global des opérations de restauration menées à l'échelle du continuum fluvial en lien avec les programmes scientifiques en cours (RhônEco).

BIBLIOGRAPHIE

Chardon V., Schmitt L., Piégay H., Lague D. (2020). Use of terrestrial photosieving and airborne topographic LiDAR to assess bed grain size in large rivers : a study on the Rhine River. *Earth Surface Processes and Landforms* **45**, 2314-2330.

CNR, GRAIE - OHM (2023). Programme de restauration écologique du Rhône. Mise en place d'un suivi opérationnel des effets des travaux de réactivation de la dynamique fluviale. Cadrage et restitution du séminaire participatif de septembre 2020. *Rapport DIGP 2023_064*.

Donati F., Touchat L., Bartout P. (2020). Les seuils en rivière transforment-ils les milieux lotiques en milieux lenticques ? *Physio-Géo* **15**, 111-131.

Huang X., Huang Y.-J., Zhang Y., Tian W., Feng R., Zhang Y., Xie Y., Li Y., Zhang L. (2023). Open-set image tagging with multi-grained text supervision. *arXiv*, e-prints pp. arXiv-2310.

Ke L., Ye M., Danelljan M., Liu Y., Tai Y.-W., Tang C.-K., Yu F. (2023). Segment anything in high quality. *arXiv*, e-prints pp. arXiv-2306.

Langhammer J. et al. (2017). UAV-Based Optical Granulometry as Tool for Detecting Changes in Structure of Flood Depositions. *Remote Sens* **9**, 240.

Parrot E. (2015). Analyse spatio-temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée. Géographie. Thèse, Université Jean Moulin Lyon III.