

Estimation 1D des flux de charriage en contexte fluvial avec BedloadWeb : exemple d'application entre le Vieux Rhône de Logis Neuf et la retenue de Caderousse

BedloadWeb : bedload fluxes assessment for a river such as the Rhône

Mélanie BERTRAND* (GINGER BURGEAP, Lyon, France), **Sylvain REYNAUD** (CNR, Lyon, France), **Frédéric LAVAL** (GINGER BURGEAP, Lyon, France), **Alain RECKING** (INRAE, Grenoble, France).

1. Les particularités hydrauliques et morphologiques du Rhône

Le Rhône, le Rhin et le Danube sont les trois principaux fleuves qui descendent des Alpes. Ces trois puissants fleuves charriaient au XIX siècle de très grandes quantités de sédiment grossiers (graviers et galets). Comme pour les 2 autres, la morphologie du Rhône français a énormément évolué depuis, suite à la mise en place de casiers dit « Girardon » (fig.1) à partir du XIX siècle, puis de chutes hydro-électriques exploitées par CNR (sauf celle de Cusset à Lyon) et sous l'influence d'autres facteurs (extractions, reboisement, tarissement des apports des affluents...). La figure 2 présente une chute CNR type avec un aménagement « en feston » qui laisse un Vieux Rhône en parallèle d'un canal usinier.



Figure 1 : casier Girardon de Ciselande à Irigny construit au XIXème



Figure 2 : chute CNR type construite entre 1939 et 1987

Conformément au SDAGE, une étude pour la mise en place d'un Schéma Directeur de Gestion Sédimentaire (SDGS) a été piloté par la DREAL AURA et réalisée en 2022 par un groupement porté GINGER-BURGEAP [1]. Cette étude propose, entre autres, de réinjecter des sédiments grossiers dans les Vieux Rhône souvent pavés, afin de reconstituer un matelas alluvial biogène et de favoriser les habitats aquatiques, la filtration de l'eau... Pour des questions de gestion et d'acceptabilité des acteurs du fleuve (GEMAPIEN, associations de riverains, CNR...), la capacité de charriage le long d'un bief hydro-électrique doit être précisée afin d'anticiper le comportement des sédiments, que ce soit en moyenne annuelle ou en crues. Début 2000, SOGREAH a fait, pour l'Etude Globale du Rhône [2], des calculs avec la formule de charriage de « Lefort ». En 2018, l'OSR a actualisé ces calculs [3] en considérant le transit des sédiments en place, souvent plus grossiers que la charge en transit. L'objet de cette communication est de présenter la méthodologie appliquée par GINGER BURGEAP avec le logiciel www.bedloadweb.com, pour calculer la capacité de transport de sédiments réinjectés.

Pour les débits courants et les crues moyennes, la création des chutes hydro-électriques par CNR, a réhaussé les niveaux d'eau du fleuve de plusieurs mètres par-rapport à la situation « naturelle » avant aménagement. Les pentes des lignes d'eau (et ligne de charge $J_{actuelle}$) et les rayons hydrauliques R_h des sections mouillées (qui peuvent être assimilés à des profondeur ou hauteur d'eau moyenne h_{actuel}), sont très différents des valeurs des écoulements naturels qui était proche d'une hauteur normale h_N et d'une pente de régime uniforme ($J_{uniforme}$). Ainsi sur les trois biefs étudiés, Montélimar (PHEN 3550m³/s), Donzère (PHEN 3580m³/s) et Caderousse (PHEN 3800m³/s), les paramètres hydrauliques de contrôle du charriage sont comparés ci-après, pour un débit de PHEN dépassé en moyenne 10j/an.

	Retenue de Montélimar PK 152.6	Retenue de Donzère (bras barrage) PK 171.5	Retenue de Caderousse PK 212.5
$J_{uniforme}(m/m \cdot 10^5)$	7	8	4
$J_{actuel}(m/m \cdot 10^5)$	0.1	0.5	0.2
$h_N(m)$	4.4	5	4
$h_{actuel}(m)$	9.6	9.4	4.7

Les pentes actuelles sont entre 16 fois (pour Donzère) et 70 fois (pour Montélimar) plus faibles, que celle du régime uniforme. Les hauteurs d'eau de l'écoulement, sont 2 fois plus importantes que celle du régime normal.

Concernant les tronçons de Vieux Rhône, qui sont suffisamment éloignés, pour ne plus être dans le remous des barrages, on note que leur morphologie est une succession de seuils et de mouilles. Le tableau suivant présente les valeurs de pentes caractéristiques d'un seuil et d'une mouille de chaque Vieux Rhône pour un débit dépassé 10j/an.

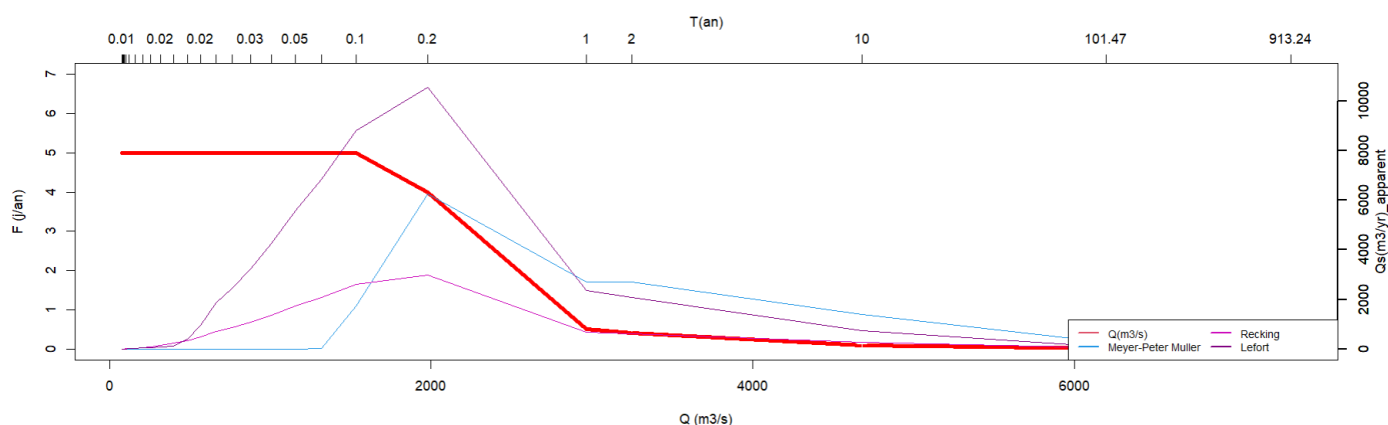
	Vx Rhône de Logis Neuf		Vx Rhône de Montélimar		Vx Rhône de Donzère	
	radier PK 137.6-138	mouille PK 137.6-138.1	radier PK 156-156.4	mouille PK 156.45-157.9	radier PK 176.6-176.8	mouille PK 176.9-177.7
$J(m/m \cdot 10^5)$	10	4	13	8	12	6
$h(m)$	3.6	5.2	3.6	4.1	3.1	4.7

Les pentes des radiers sont de 1.6 à 3 fois plus importantes que celles des mouilles. Concernant les profondeurs elles sont 1.1 à 1.5 fois plus faibles. Compte tenu du linéaire étudié, il a été fait le choix de définir des tronçons morphologiques homogènes sur chaque bief hydroélectrique, caractérisé par un profil en travers type.

2. Calculs des capacités de charriage du Rhône avec BedloadWeb

La version de BedloadWeb en ligne est adaptée aux rivières de piémont dont les écoulements sont proches du régime uniforme. Pour permettre son utilisation sur le Rhône, dont le régime est modifié par la présence des aménagements et des hauts fonds, les modalités de calculs ont été modifiées par INRAE. Ainsi, **l'évolution fonctionnelle de l'outil a permis d'associer à chaque débit caractéristique un niveau d'eau et une pente d'énergie**, plutôt que d'avoir une seule pente pour tous les débits et de laisser le code calculer les paramètres hydrauliques en régime uniforme, comme dans la version de base. Les données d'entrée à saisir sont donc 1) la distribution granulométrique, 2) les sections en travers, 3) les pentes et hauteurs associées à chaque débit caractéristique, et 4) l'hydrologie (hydrogramme de crue et courbes des débits classés).

Pour analyser la sensibilité des capacités de charriage à la taille des sédiments transportés, qui correspondrait à des distributions qui pourraient être réinjectés, 3 courbes ont été construites (i.e. $d_{84} = 20$ mm, 40 mm et 70 mm). Les lits mineurs et lits actifs de charriage ont été définis sur les profils en travers à partir de l'analyse topographique et des photographies aériennes (présence de bancs, de végétation sur les bancs). Pour l'hydrologie, les courbes de débits classés annuels moyens journaliers ainsi que les hydrogrammes de crue de récurrence 2 ans, 10 ans, 100 ans et 1000 ans, ont été construits pour chaque Vieux Rhône et chaque retenue. La figure suivante montre un exemple de calcul de la répartition des débits solides en fonction des débits classés, pour la section du Pk 179.5 (ici le volume annuel transporté en cumulé est d'environ 16 000 m³/an pour $d_{84} = 42$ mm).



REFERENCES

- [1] Laval F., Fantino G., Catalon E., Cumin T., Gilles G., Mosselman E. (2020). Etude préalable au schéma directeur de gestion sédimentaire du fleuve Rhône du lac Léman jusqu'à la mer Méditerranée. Phase 1 – Etat des lieux. Rapport de Mission 2 – Synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve Rhône. Groupement de bureaux d'études BURGEAP-GEOPEKA-ACTEON-ARALEP-MOSAÏQUE Environnement-DELTARES. Secrétariat technique : DREAL, CNR, EDF, Agence de l'Eau.
- [2] SOGREAH (2000). Etude Globale du Rhône pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône. Etude du transport solide
- [3] Vazquez-Tarrio, D. (2018). Effects of continuous embankments and successive run-of-the-river dams on bedload transport capacities along the Rhône River, France, STOTEN 658 (2019) 1375-1389

- [4] Recking, A. (2013a). A simple method for calculating reach-averaged bedload transport, journal of hydraulic engineering, 139 (1)

PHEN : plus hautes eaux navigables