

PREMIERS PAS VERS UNE PREVISION DES APPORTS DE SEDIMENTS EN SUSPENSION SUR LA LOIRE A GIEN

Forecasting of suspended sediment at Gien on the Loire River (France)

Auteur correspondant : Cécile MARTINET, EDF-DTG, 134 chemin de l'étang – 38950 Saint-Martin-Le-Vinoux, cecile.martinet@edf.fr

Auteurs de la communication : Joel Gailhard, EDF-DTG, Saint-Martin-Le-Vinoux, France
Jessica Darriet, EDF-DTG, Toulouse, France

1. Contexte et objectifs

La Loire, depuis sa source jusqu'à son estuaire, véhicule des matières solides avec des phénomènes de dépôts-reprises sur son linéaire. L'étendue granulométrique de ces matières solides est vaste, mais elle est prédominée par des sables et des sédiments fins. En comparaison avec d'autres rivières européennes, les flux spécifiques de MES (Matières En Suspension) sont relativement faibles pour le bassin de la Loire (95 % des sous-bassins ont des flux spécifiques interannuels compris entre 3 et 20 t/an/km² [1]).

Néanmoins, les sédiments fins de la Loire sont responsables de dépôts de boues que l'on retrouve sur les outils de production des industriels, et qui entraînent des coûts de nettoyage et de remplacement du matériel. D'où le besoin d'anticiper l'arrivée de ces sédiments en amont des prélèvements d'eau pour aider à la protection du patrimoine industriel. Notre point d'intérêt pour la suite de l'étude est Gien sur la Loire moyenne.

L'étude suivante s'intéresse d'abord à une analyse descriptive des données sédimentaires disponibles au niveau de Gien, puis au lien avec les données hydrométéorologiques disponibles en amont de Gien et enfin à la modélisation de la dynamique temporelle des sédiments fins. Autant de premiers pas vers un futur système de prévision.

2. Premières analyses des données disponibles

Étant donné les faibles flux spécifiques, il y a peu de séries en continu de MES (ou de turbidité) à pas de temps fin sur la Loire moyenne. Une mesure en continu (horaire) de turbidité en FNU (Formazine Néphélométric Unit) est installée depuis septembre 2018 aux environs de Gien. Même si elle n'est pas convertie en MES, elle permet d'apprécier la dynamique horaire des apports en sédiments en suspension de la Loire après sa confluence avec l'Allier.

L'analyse de la turbidité en fonction du débit permet de mettre en évidence une relation qui traduit l'arrivée des sédiments avec les crues, mais qui est loin d'être stable dans le temps. Néanmoins, l'analyse des hystérésis montre un point commun. Pour une grande majorité des crues solides, on trouve des hystérésis dans le sens horaire. Ainsi, le pic de turbidité est observé avant le pic de débit. Cet effet traduit probablement le fait que les sédiments proviennent d'une zone située relativement proche du point de mesure et que les pics de turbidité sont fortement influencés par la reprise ou remobilisation du stock accumulé dans le lit de la rivière [2].

3. Modélisation de la turbidité

L'objectif est de construire un modèle statistique permettant d'approcher au mieux la turbidité. Un premier modèle, servant de référence, est obtenu à partir du seul débit mesuré au même point que la turbidité (RMSE=8 FNU pour une turbidité maximale de 120 FNU, R²=0.65). Puis un modèle optimisé est construit à partir d'une modélisation hydrologique en sept Bassins Versants (BV) de la Loire à Gien. Cette modélisation est réalisée à l'aide du modèle MORDOR-SD d'EDF [3]. On dispose ainsi d'une estimation de la contribution « naturelle » de ces BV au débit désinfluencé de la Loire à Gien, ainsi que d'une estimation du ruissellement pour expliquer les phénomènes érosifs.

Le lien entre la turbidité et les pluies, les débits modélisés et les ruissellements modélisés sur les sept BV est analysé afin d’identifier les variables ayant le plus d’impact sur la turbidité. Un décalage temporel est également introduit pour tenir compte des temps de propagation. La forte influence des débits (en comparaison aux pluies et aux ruissellements) est ainsi confirmée (traduisant l’importance de la reprise). Les débits des bassins de tête sur l’Allier et du sous bassin de la Loire entre Villerest et Nevers semblent les plus influents (mais ce sont aussi eux qui portent la dynamique du débit de la Loire). Les pluies et les ruissellements sont plus fortement corrélés à la turbidité lorsqu’ils sont agrégés à la maille journalière (ou pluri-journalière), traduisant l’importance de l’effet cumulatif de ces variables.

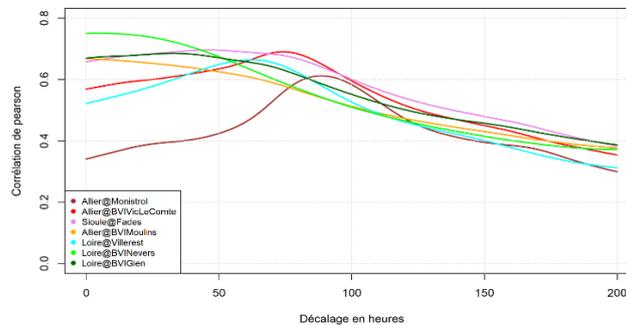


Figure 1 : Corrélation entre la turbidité à Gien et les débits modélisés décalés dans le temps

Le modèle optimisé est un modèle GAM (Generalized Additive Model) [4]. Il s’agit d’une extension non-paramétrique des modèles de régression linéaire multiple. La formulation des modèles GAM : $g(E[Y]) = \beta_0 + s_1(X_1) + s_2(X_2) + s_3(X_3) + \dots$ présente l’avantage de prendre en compte la non-linéarité des relations entre la variable à expliquer Y et les variables explicatives X_1, X_2, X_3, \dots à l’aide de fonctions de lissage par splines s_1, s_2, s_3, \dots . Les variables explicatives retenues sont uniquement les débits issus de la modélisation hydrologique et décalés temporellement (car l’ajout des autres variables ne permet plus de gain significatif). On obtient ainsi un modèle de turbidité à Gien plus performant que le modèle de référence (RMSE=5.5 FNU, $R^2=0.83$).

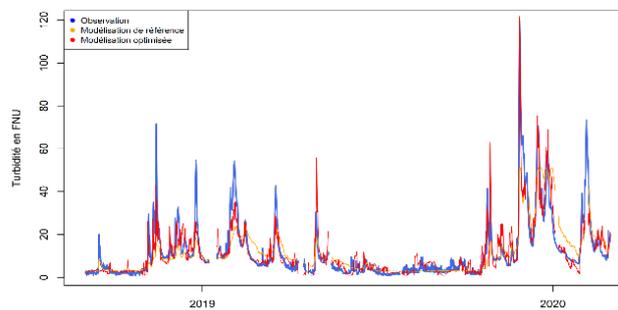


Figure 2 : Modélisation statistique de la turbidité à Gien

4. Conclusions et perspectives

Les analyses réalisées ont permis de mettre en évidence les mécanismes prépondérants (importance de la reprise en comparaison avec la production sédimentaire) et de proposer un modèle avec un bon pouvoir prédictif. Avec l’enrichissement futur du jeu de données, des améliorations restent à envisager, afin d’intégrer un effet d’épuisement du stock. De plus, la relation entre turbidité et MES demande à être enrichie à l’aide de mesures complémentaires.

REFERENCES

- [1] Gay et al., 2014 : Variability of suspended sediment yields within the Loire river basin
- [2] Misset, 2019 : The role of riverbed on suspended sediment transport dynamics in Alpine Catchments
- [3] Garavaglia et al., 2017 : Impact of model structure on flow simulation and hydrological realism: from a lumped to a semi-distributed approach. *Hydrology & Earth System Sciences*.
- [4] Hastie and Tibshirani, 1986 : Generalized Additive Models