

Proposition de sujet de thèse 2023 : Mécanismes du transport solide en crue

Résumé

L'estimation des flux de sédiments est nécessaire pour la gestion intégrée des ressources en eau et la prévention des risques. Connaître ces flux permet de répondre à des problématiques d'érosion des sols, de préservation de la biodiversité, de bon fonctionnement des infrastructures et ouvrages. Or le transport solide s'effectue principalement lors de crues, il faut donc coupler ce phénomène avec les processus hydrologiques. L'objectif du projet est d'améliorer la compréhension du transport de matière à l'échelle du bassin versant en utilisant des outils de simulation numérique. La comparaison entre le comportement simulé par le modèle et les observations de flux sédimentaires permettront l'identification des processus à l'oeuvre lors des crues pour améliorer à la fois caractérisation et modélisation. Cette connaissance devrait permettre d'améliorer la prévision des crues extrêmes en ajustant les paramètres clés que sont le frottement et la bathymétrie. Il pourrait alors être envisageable d'analyser également le rôle des sédiments sur la dynamique des crues.



FIGURE 1 – Panache sédimentaire provoqué par le Rhône, 12/05/2021. Crédit : European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery



FIGURE 2 – Dégâts dus à la tempête Alex, 02/10/2020. © AFP - Valérie HACHE

Contexte

Une meilleure compréhension des crues en lien avec le transport sédimentaire à l'échelle du bassin versant est nécessaire pour la gestion de l'eau et la préservation des sols. Le changement climatique a probablement entraîné une augmentation de la fréquence des extrêmes de précipitations au cours des dernières années (Masson-Delmotte et al., 2021). Les crues causées par de fortes précipitations sont considérées comme l'un des risques naturels les plus répandus dans le monde et sont responsables d'énormes pertes humaines et matérielles. Elles sont parfois accompagnées d'un important transport de sédiments, qui peut causer de graves dommages aux infrastructures et constituer une menace pour l'agriculture et les écosystèmes fluviaux (Bauer et al., 2019). Avec la prise de conscience du rôle important des sédiments dans les risques d'inondation (Nones, 2019), la directive européenne sur les inondations (Directive inondation, 2007) a suggéré que les cartes de risques d'inondation dérivées des inondations à longue période de retour devraient inclure des informations sur "l'indication des zones où peuvent se produire des inondations charriant un volume important de sédiments ou des débris". En outre, l'estimation de la production totale de sédiments est l'un des points clés de la gestion des bassins versants, en lien avec préservation de la biodiversité (Tesema and Leta, 2020).

Des publications récentes suggèrent une grande variabilité de la relation concentration/débit, en particulier dans le contexte alpin (Esteves et al., 2019; Missot et al., 2021b). Cette variabilité serait liée à l'activation de différentes sources de sédiment (sources de versant ou stocks dans le lit de la rivière)

contrôlant ainsi les flux en suspension véritablement transportés. Ces résultats peuvent avoir des impacts méthodologiques importants pour la modélisation du transport solide ainsi que des implications opérationnelles pour la gestion des bassins versants. Des pistes d'amélioration des modèles à base physique sont suggérées, sur la base de ces observations (Misset et al., 2021a) et d'une revue des modèles couramment utilisés (Pandey et al., 2016). Il découle de cette revue et d'autres références (Sadeghi et al., 2014) que les modèles à base physique sont beaucoup plus performants pour décrire l'ensemble des processus physiques, comme le ravinage qui est généralement sous-représenté. De plus les modèles globaux, comme MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), ont une précision extrêmement variable en fonction du bassin d'application (Sadeghi et al., 2014). Les modèles utilisant des formules de transport à base physique ne permettent pas de découpler les phénomènes de suspension et de charriage (Pandey et al., 2016). Grâce aux développements de la télédétection spatiale et aéroportée (drone), l'aspect distribué de modèle pluie-débit comme MARINE (Roux et al., 2011) apporte un avantage en permettant de prendre en compte l'hétérogénéité des caractéristiques du bassin versant (sol, occupation du sol, etc...), y compris pour la calibration (Sirisena et al., 2020; Huang et al., 2020). La prise en compte explicite du réseau de drainage permet de plus la modélisation de l'érosion des berges et celle de l'influence des barrages qui sont encore mal modélisés (Pandey et al., 2016). Une meilleure connaissance des caractéristiques du réseau de drainage est indispensable pour l'étude des crues. Elle est disponible à l'échelle nationale grâce à des études récentes basées sur l'intelligence artificielle (Morel et al., 2020). Ainsi les processus de transfert et de déposition peuvent être mieux décrits et paramétrés.

Objectifs

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre les différents phénomènes à l'origine du transport solide (charriage et suspension), en particulier lors des crues. Différentes caractérisations du système et hypothèses de fonctionnement seront testées et confrontées aux observations existantes pour améliorer cette compréhension et proposer une modélisation cohérente à l'échelle du bassin versant.

Description du travail

Le travail envisagé consiste à utiliser la modélisation numérique comme outil d'aide à la compréhension de la réponse hydro-sédimentaire des bassins versants. En particulier, les points suivants seront examinés :

1. Comparer les modèles existants, les processus représentés, les hypothèses sous-jacentes, les points forts et les limitations,
2. Collecter, traiter et analyser les données disponibles (infrastructure OZCAR¹, observatoire O2H (Levard et al., 2022), ...),
3. Développer des approches de changement d'échelles pour faire le lien entre les processus à l'échelle du bassin versant et à l'échelle du cours d'eau,
4. Évaluer les possibilités de classification des comportements hydrosédimentaires d'un bassin versant à partir de bases de données existantes (topographie, pédologie, géologie, ...) et d'adaptation de méthodologies issues de l'intelligence artificielle (Data mining et clustering notamment).

Profil souhaité

Diplômé de Master 2 ou d'école d'ingénieurs ayant de bonnes connaissances en hydrologie et en transport solide. Des compétences solides en programmation et outils de calcul numérique (FORTRAN, R ou python) sont indispensables. Des notions en utilisation de systèmes d'informations géographiques pourront être utiles.

1. <https://www.ozcar-ri.org/fr/ozcar-observatoires-de-la-zone-critique-applications-et-recherche/>

Responsables

Ludovic Cassan (Maître de Conférences HDR Toulouse INP/IMFT), Ludovic.Cassan@imft.fr
Hélène Roux (Professeur Toulouse INP/IMFT), Helene.Roux@imft.fr

Localisation : IMFT, Allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse.

Références

- M. Bauer, T. Dostal, J. Krasa, B. Jachymova, V. David, J. Devaty, L. Strouhal, and P. Rosendorf. Risk to residents, infrastructure, and water bodies from flash floods and sediment transport. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2) :85, Jan. 2019. ISSN 1573-2959. doi : 10.1007/s10661-019-7216-7. URL <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7216-7>.
- Directive inondation. Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 2007.
- M. Esteves, C. Legout, O. Navratil, and O. Evrard. Medium term high frequency observation of discharges and suspended sediment in a Mediterranean mountainous catchment. *Journal of Hydrology*, 568 :562–574, Jan. 2019. ISSN 0022-1694. doi : 10.1016/j.jhydrol.2018.10.066. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418308370>.
- Q. Huang, G. Qin, Y. Zhang, Q. Tang, C. Liu, J. Xia, F. H. S. Chiew, and D. Post. Using Remote Sensing Data-Based Hydrological Model Calibrations for Predicting Runoff in Ungauged or Poorly Gauged Catchments. *Water Resources Research*, 56(8) :e2020WR028205, 2020. ISSN 1944-7973. doi : 10.1029/2020WR028205. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020WR028205>. _eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2020WR028205>.
- F. Levard, R. Yassine, T. Geay, S. Zanker, B. Thouary, and O. Frysou. An experimental hydro-sedimentary observatory in pays des gaves. In *Colloque TSMR – CFBR "Transport sédimentaire : rivières & barrages réservoirs"*, Saclay, France, March 15-17, 2022 2022.
- V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. Matthews, T. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, editors. *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021. doi : 10.1017/9781009157896.002.
- C. Misset, A. Recking, C. Legout, B. Viana-Bandeira, and A. Poirel. Assessment of fine sediment river bed stocks in seven Alpine catchments. *CATENA*, 196 :104916, Jan. 2021a. ISSN 0341-8162. doi : 10.1016/j.catena.2020.104916. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816220304665>.
- C. Misset, A. Recking, C. Legout, S. Zanker, and A. Poirel. Interactions entre flux en suspension et lit d'une riviere alluviale alpine – cas de La Séveraisse. *LHB*, 107(1) :1–9, Jan. 2021b. ISSN null. doi : 10.1080/00186368.2021.1914467. URL <https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1914467>. Publisher : Taylor & Francis _eprint : <https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1914467>.
- M. Morel, D. J. Booker, F. Gob, and N. Lamouroux. Intercontinental predictions of river hydraulic geometry from catchment physical characteristics. *Journal of Hydrology*, 582 :124292, Mar. 2020. ISSN 0022-1694. doi : 10.1016/j.jhydrol.2019.124292. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419310273>.

- M. Nones. Dealing with sediment transport in flood risk management. *Acta Geophysica*, 67(2) :677–685, Apr. 2019. ISSN 1895-7455. doi : 10.1007/s11600-019-00273-7. URL <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00273-7>.
- A. Pandey, S. K. Himanshu, S. K. Mishra, and V. P. Singh. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *CATENA*, 147 :595–620, Dec. 2016. ISSN 0341-8162. doi : 10.1016/j.catena.2016.08.002. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816216303137>.
- H. Roux, D. Labat, P.-A. Garambois, M. M.-M., J. Chorda, and D. Dartus. A physically-based parsimonious hydrological model for flash floods in mediterranean catchments. *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 11(9) :2567–2582, 2011.
- S. Sadeghi, L. Gholami, A. Khaledi Darvishan, and P. Saeidi. A review of the application of the MUSLE model worldwide. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2) :365–375, Feb. 2014. ISSN 0262-6667. doi : 10.1080/02626667.2013.866239. URL <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.866239>. Publisher : Taylor & Francis _eprint : <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.866239>.
- T. A. J. G. Sirisena, S. Maskey, and R. Ranasinghe. Hydrological Model Calibration with Streamflow and Remote Sensing Based Evapotranspiration Data in a Data Poor Basin. *Remote Sensing*, 12 (22) :3768, Jan. 2020. ISSN 2072-4292. doi : 10.3390/rs12223768. URL <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/22/3768>. Number : 22 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- T. A. Tesema and O. T. Leta. Sediment Yield Estimation and Effect of Management Options on Sediment Yield of Kesem Dam Watershed, Awash Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 9 :e00425, Sept. 2020. ISSN 2468-2276. doi : 10.1016/j.sciaf.2020.e00425. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301630>.