

Modélisation mécanique et numérique des écoulements chargés en sédiments et en débris, application aux conséquences de la tempête Alex

Lagrée Pierre-Yves (d'Alembert) & Lafuerza Sara (ISTeP)



Photo DR CNES du satellite Sentinel 2A le 3 octobre 2020 montrant nettement les crues dans les vallées, ainsi que les panaches sédimentaires qui se déversent dans la Méditerranée, en aval des cours d'eau chargés de sédiments.

Contexte scientifique, adéquation avec l'appel:

Modéliser l'évolution de la topographie lors d'une crue exceptionnelle dans un environnement de vallées littorales, et la prise en compte d'écoulements hyper concentrés sont des défis essentiels pour l'évaluation de l'aléa hydro-sédimentaire et du risque dans ces vallées côtières, leurs embouchures, et le littoral.

Le sujet proposé est en lien avec les événements hydrologiques et géomorphologiques déclenchés le 2 octobre 2020, par un épisode « méditerranéen » exceptionnel: la tempête atlantique Alex dans les vallées côtières des Alpes-Maritimes. Ses conséquences dramatiques ont révélé, une nouvelle fois, la fragilité de ce territoire sujet aux crues éclairs de grande ampleur. Ce phénomène hydrométéorologique exceptionnel, a généré localement des cumuls de précipitation supérieurs à 500 mm (litres/m²) et a engendré des transformations géomorphologiques des versants et des crues dévastatrices des affluents du Var (Vésubie, Tinée) et de la Roya. Les écoulements, après avoir provoqué des destructions locales considérables ont ensuite déversé leur déchets et pollutions dans la mer (panaches de l'image satellite).

Les interactions complexes du système terre-mer nord-méditerranéen qui ont conduit à ce phénomène, sa mesure directe et indirecte, ses conséquences et sa fréquence potentielle sur ce territoire complexe sont autant de questions difficiles et transdisciplinaires autour de grandes questions :

- L'analyse de la réponse en termes de mouvement des masses rocheuses sur les zones déjà identifiées comme « instables », mais aussi sur les zones « vierges », est un enjeu scientifique majeur car historiquement les entrants hydrométéorologiques sont exceptionnels, mais ils risquent de ne pas l'être dans les années à venir à cause du changement climatique et en particulier du réchauffement de la Méditerranée
- l'identification de la dynamique sédimentaire long terme sur les cours d'eau concernés, dans une logique d'aménagement durable des vallées, avec la problématique du stockage et du déstockage des sédiments déposés suite à l'épisode Alex, mais aussi lors d'autres événements de même ampleur identifiés en mer: glissements de terrains sous-marins, génération de raz de marée ou de tsunamis.

Les études de terrain et l'analyse stratigraphique et géomorphologique des bassins versants et du talweg de la Roya montrent que les grandes crues de ces vallées alpines se réalisent dans un contexte climatique particulier. Ce ne sont pas des crues classiques, mais des événements hydro-sédimentaires mettant en jeu des processus complexes d'érosion et de dépôt, avec des écoulements complexes à la fois de débris (coulées de boues transports de blocs et embâcles) et d'eau turbulente, et du stockage sédimentaire en amont (pouvant être déstocké à la première crue « classique ») et être déversés dans la mer avec génération possible de glissements de

terrain sous marin. Les travaux classiques de modélisations de séries temporelles de débits en différents points de la vallée ne prennent pas en compte l'évolution de la topographie lors d'une crue (érosion/dépôt).

Modélisation numérique

Pour reproduire numériquement de tels événements de glissements de terrains inondés avec des matériaux très divers transportés, une part importante de modélisation est nécessaire. Cette modélisation passe par les équations de la mécanique (conservations de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie) avec les simplifications les plus pertinentes pour respecter la physique des phénomènes et ne pas nécessiter un trop grand temps de calcul.

La stratégie abordée consiste à décomposer en écoulement d'eau et de débris en faisant des approximations de couches minces. Pour fixer les idées, pour l'eau, l'approche de Saint-Venant (shallow water, Kirstetter et al 2021, Brigode et al. 2022) est la première à considérer, elle est classique. Pour des écoulements granulaires secs denses, la même approche est nommée approche "Savage Hutter", Bouchut et al. 2008 Saingier et al. 2016. Il s'agit maintenant de modéliser au mieux un mélange des deux (Zech et al 2008, Pudasaini 2014, Iverson 2015...)

En effet, la nécessité de bien connaître le frottement pariétal qui provoque l'entraînement des sédiments et des débris demande de complexifier ces équations en rajoutant des couches de fluides pouvant être plus ou moins denses suivant leur concentration en sédiments ou en débris et de modifier la viscosité en conséquence. Des rhéologies de "débris flows" plus ou moins simplifiées, passant des approches frictionnelles de type "Coulomb $\mu(l)$ " comme dans Savage Hutter, à des lois à seuil de type Bingham seront à explorer. Cette partie est plus originale (elle utilise l'approche "multilayer" qui est une manière économe de discrétiser les équations, De Vita et al. 2020).

Le code créé sera inclus dans le programme "Basilisk" développé principalement par Stéphane Popinet CNRS à ∂ 'Alembert SU. Il s'agit d'un code volumes finis en C assez modulaire, libre et coopératif. Ce code a déjà été utilisé pour simuler des inondations sur des topographies réelles (Cannes: 2015 Kirstetter et al. 2021 et Alex: Brigode et al. 2022) ou des événements de type Tsunami (2004 et 2011) mais avec uniquement l'approche Saint-Venant sans érosion/déposition ni écoulements hyper denses. Le couplage écoulement concentré non newtonien avec érosion/déposition est l'objet de cette thèse. Son développement sera testé d'abord sur des cas simplifiés et épurés. L'application au cas réel est le challenge à relever.

Ce travail se fera en collaboration entre l'Institut Jean le Rond ∂ 'Alembert et l'ISTeP (tous deux CNRS et Sorbonne Université, campus Pierre et Maris Curie), avec Lagrée Pierre-Yves et Abramian Anaïs (∂ 'Alembert) & Lafuerza Sara (ISTeP)

Mots clefs: debris flows, transport par charriage, couplage érosion sédimentation,

Bibliographie

- d'Acremont, E., Lafuerza, S., Rabaute, A., Lafosse, et al. 2022 Distribution and origin of submarine landslides in the active margin of the southern Alboran Sea (Western Mediterranean Sea). doi: 10.1016/j.margeo.2022.106739
- Llopart, J., Lafuerza, S., Le Friant, A., Urgeles, R., Watremez, L., 2021 Long-term and long-distance deformation in submarine volcanoclastic sediments: coupling of hydrogeology and debris avalanche emplacement off Martinique island. doi: 10.1111/bre.12553.
- Brigode Bourgin Yassine Delestre Lagrée 2022 Are hydrologic-hydraulic coupling approaches able to reproduce Alex flash-flood dynamics and impacts on southeastern French headwaters? Adv. in Hydroinformatics pp 419–436, Springer
- S. P. Pudasaini 2014 Dynamics of submarine debris flow and tsunami Acta Mechanica 225(8)
- Geoffroy Kirstetter, S. Popinet, Christophe Josserand Pierre-Yves Lagrée 2021 b-flood 1.0: an open-source Saint-Venant model for flash floodsimulation using adaptive refinement, Geosci. Model Dev., 14, 7117–7132, 2021
- F. De Vita, P.-Y. Lagrée, S. Chibbaro, S. Popinet 2020 Beyond Shallow Water: appraisal of a numerical approach to hydraulic jumps - based upon the Boundary Layer Theory. European Journal of Mechanics / B Fluids 79 (2020) 233-246
- Guillaume Saingier, Stephanie Deboeuf, and P.-Y. Lagrée 2016 On the front shape of an inertial granular flow down a rough incline, Physics of Fluids, vol 28, 053302 1-15;
- F Bouchut, ED Fernandez-Nieto, A Mangeney, PY Lagrée 2008 On new erosion models of Savage–Hutter type for avalanches Acta mechanica 199 (1-4), 181-208
- Y. Zech , S. Soares-Frazão , B. Spinewine & N. Le Grelle 2008 Dam-break induced sediment movement: Experimental approaches and numerical modelling", Journal of Hydraulic Research, 46:2, 176-190,