

Analyse expérimentale et numérique des modes de remobilisation d'apports sédimentaires sous écoulements instationnaires

Contexte

Les barrages hydroélectriques représentent la première source d'énergie renouvelable en France mais peuvent présenter un impact fort sur le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques en altérant la continuité écologique des cours d'eau. Ces structures peuvent perturber le transit des sédiments et ainsi réduire la disponibilité sédimentaire dans les tronçons en aval générant des perturbations majeures sur la morphologie, l'écologie et les utilisations humaines du milieu. Pour atténuer ce déficit, des apports peuvent être générés lors d'opération de recharge sédimentaire. La prédiction du transport sédimentaire, en particulier la remobilisation de ces sédiments, est d'un intérêt primordial pour évaluer précisément l'efficacité et la durabilité des apports, en particulier, durant les épisodes de crues, présentant de forte variation de débit, et pour lesquels les modèles utilisés classiquement peuvent atteindre leurs limites. De nombreux paramètres physiques, liés aux conditions de débit (pente de débit, valeur minimale et maximale, durée, hauteur d'eau, turbulence ...) et à la composition du lit sédimentaire (granulométrie, structure du lit, apports de sédiments, histoire...) rentrent en jeu dans ces interactions

Si les mécanismes d'érosion et de transport sédimentaire en régime stationnaire sont aujourd'hui relativement bien établis, de nombreux travaux récents ont montré que la dynamique temporelle des écoulements modifie les seuils d'initiation du mouvement et les modes de transport, remettant en question les approches fondées uniquement sur des valeurs instantanées de contrainte au fond. Plusieurs études expérimentales et numériques ont mis en évidence que, sous écoulement instationnaire, l'initiation du mouvement sédimentaire dépend non seulement de l'amplitude du débit, mais également de son évolution temporelle, via des effets d'accélération, d'hystérésis et de mémoire. Ces travaux suggèrent l'existence de mécanismes spécifiques, pour lesquels la réponse du sédiment est déphasée par rapport au forçage hydrodynamique, conduisant à des comportements non observés en régime quasi-stationnaire.

Travail de thèse :

Cette thèse s'inscrit dans la continuité des travaux de Florent Grattepanche, qui ont montré que l'instationnarité des hydrogrammes peut induire des modes de remobilisation distincts, directement liés à la forme temporelle des hydrogrammes. Ces résultats soulignent la nécessité d'une analyse des paramètres décrivant l'instationnarité, au-delà du seul débit maximal, afin de mieux comprendre les mécanismes gouvernant la stabilité des apports sédimentaires localisés. L'objectif principal de cette thèse est d'analyser de manière fondamentale les modes de remobilisation d'apports sédimentaires soumis à des hydrogrammes idéalisés et contrôlés, en s'appuyant sur des paramètres temporels clairement identifiés.

Des hydrogrammes simplifiés seront considérés afin de dissocier les effets du débit maximal, des temps caractéristiques de montée et de décrue, ainsi que des accélérations associées. Ce choix permet de s'inscrire dans une démarche de modélisation, visant à identifier les mécanismes dominants, comme cela est classiquement recherché dans les études fondamentales en hydraulique instationnaire. L'analyse pourra être étendue à des hydrogrammes multi-pics, permettant d'étudier l'effet de sollicitations successives sur la dynamique de remobilisation, et d'explorer des phénomènes déjà observés dans des contextes de transport instationnaire. L'influence de la géométrie initiale de l'apport sédimentaire sera également étudiée. En effet, la forme du dépôt (hauteur, longueur caractéristique, pentes

INSTITUT Pprime . CNRS . UNIVERSITÉ DE POITIERS . ENSMA . UPR 3346 .

Adresse postale : SITE DU SP2MI - 11, Boulevard Marie et Pierre Curie Site du futuroscope - TSA 41123- 86073 POITIERS CEDEX 9 -
www.pprime.fr

amont et aval, symétrie) conditionne la distribution spatiale des contraintes hydrodynamiques et des forces exercées sur les sédiments, et joue un rôle déterminant dans les mécanismes de déstabilisation. L'approche méthodologique reposera sur une combinaison étroite d'expérimentations en laboratoire et de simulations numériques. Les expériences seront menées en canal hydraulique, avec des apports sédimentaires de géométrie contrôlée soumis à des hydrogrammes instationnaires précisément définis. Les champs de vitesse et leur évolution temporelle seront caractérisés à l'aide de techniques de mesure non intrusives, telles que la vélocimétrie par images de particules (PIV), permettant d'accéder aux effets d'accélération et aux variations de contrainte au voisinage du dépôt. En parallèle, des simulations numériques d'écoulements instationnaires couplés au transport sédimentaire seront développées afin de compléter l'analyse expérimentale. Ce travail vise à identifier les paramètres d'instationnarité gouvernant la remobilisation des apports sédimentaires et à déterminer des seuils critiques dépendant conjointement de la dynamique temporelle de l'écoulement et de la géométrie du dépôt. Les résultats attendus contribueront à une meilleure compréhension fondamentale des processus d'érosion et de transport sédimentaire sous écoulements instationnaires, et à l'amélioration des modèles existants.

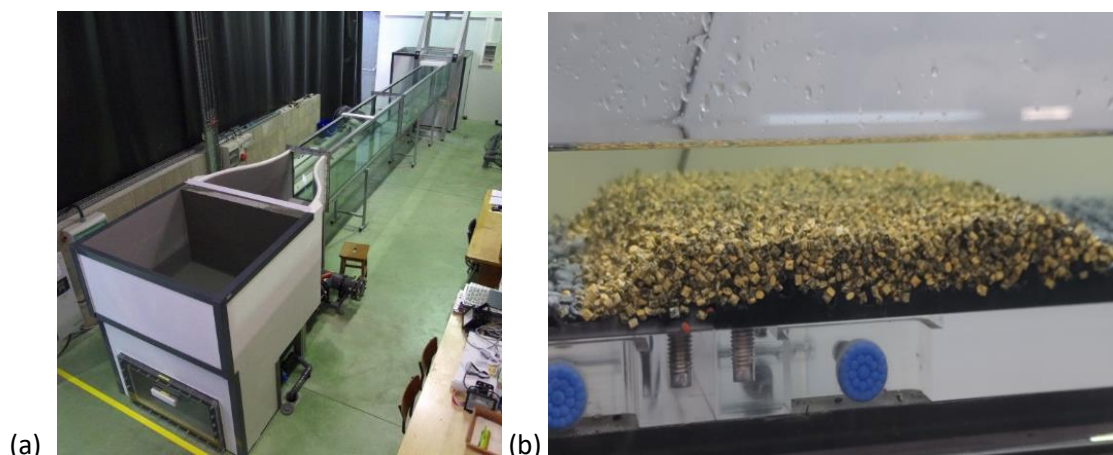


Figure 1 : a) Canal hydro-sédimentaire de la pHE de l'Institut Pprime b) Visualisation d'un apport de sédiment modélisé dans le canal de laboratoire

Profil recherché/Domaines de compétence :

Formation en Mécaniques des Fluides, Environnement, Sciences pour l'Ingénieur de niveau bac+5. Des capacités pour la rédaction en anglais seront appréciées

Durée : 36 mois (du 01/10/2026 au 01/10/2029)

Lieu :

Institut Pprime, Département Fluides, Thermique et Combustion
11 Boulevard Marie et Pierre Curie, TSA 51124
86073 Poitiers Cédex 9, France

Encadrants :

Guillaume Gomit

guillaume.gomit@univ-poitiers.fr

Damien Calluau

damien.calluau@univ-poitiers.fr

INSTITUT Pprime . CNRS . UNIVERSITÉ DE POITIERS . ENSMA . UPR 3346 .

Adresse postale : SITE DU SP2MI - 11, Boulevard Marie et Pierre Curie Site du futuroscope - TSA 41123- 86073 POITIERS CEDEX 9 -
www.pprime.fr

Experimental and numerical analysis of sediment remobilization modes under unsteady flows

Context

Hydroelectric dams are the primary source of renewable energy in France, but they can have a significant impact on the proper functioning of aquatic ecosystems by altering the ecological continuity of waterways. These structures can disrupt sediment transport and thus reduce sediment availability in downstream sections, causing major disturbances to the morphology, ecology, and human uses of the environment. To mitigate this deficit, sediment can be replenished through sediment recharge operations. Predicting sediment transport, particularly the remobilization of these sediments, is of paramount importance in accurately assessing the effectiveness and sustainability of replenishment, especially during flood events, which involve significant variations in flow and for which conventional models can reach their limits. Numerous physical parameters related to flow conditions (flow gradient, minimum and maximum values, duration, water depth, turbulence, etc.) and the composition of the sedimentary bed (grain size, bed structure, sediment inputs, history, etc.) come into play in these interactions.

While the mechanisms of erosion and sediment transport under steady-state conditions are now relatively well established, numerous recent studies have shown that the temporal dynamics of flows modify the thresholds for initiating movement and modes of transport, calling into question approaches based solely on instantaneous values of bottom stress. Several experimental and numerical studies have shown that, under unsteady flow conditions, the initiation of sediment movement depends not only on the amplitude of the flow, but also on its temporal evolution, via acceleration, hysteresis, and memory effects. It suggests the existence of specific mechanisms, in which the response of the sediment is out of phase with the hydrodynamic forcing, leading to behaviors not observed in quasi-steady-state conditions.

Thesis work:

This thesis builds on the work of Florent Grattepanche, who showed that the instationarity of hydrographs can induce distinct remobilization modes directly linked to the temporal shape of the hydrographs. These results highlight the need to analyze the parameters describing non-stationarity, beyond maximum flow alone, in order to better understand the mechanisms governing the stability of localized sediment inputs. The main objective of this thesis is to conduct a fundamental analysis of the modes of sediment remobilization subjected to idealized and controlled hydrographs, based on clearly identified temporal parameters.

Simplified hydrographs will be considered in order to separate the effects of maximum flow, characteristic rise and fall times, and associated accelerations. This choice is consistent with a modeling approach aimed at identifying the dominant mechanisms, as is typically sought in fundamental studies of unsteady hydraulics. The analysis may be extended to multi-peak hydrographs, allowing the effect of successive stresses on remobilization dynamics to be studied and phenomena already observed in unsteady transport contexts to be explored. The influence of the initial geometry of the sediment supply will also be studied. The shape of the deposit (height, characteristic length, upstream and downstream slopes, symmetry) determines the spatial distribution of hydrodynamic stresses and forces exerted on the sediments, and plays a decisive role in destabilization mechanisms.

The methodological approach will be based on a close combination of laboratory experiments and numerical simulations. The experiments will be conducted in a hydraulic channel, with sediment inputs of controlled geometry subjected to precisely defined unsteady hydrographs. The velocity fields and their temporal evolution will be characterized using non-intrusive measurement techniques, such as particle image velocimetry (PIV), to assess acceleration effects and stress variations in the vicinity of the deposit. In parallel, numerical simulations of unsteady flows coupled with sediment transport will be developed to complement the experimental analysis.

This work aims to identify the parameters of unsteadiness governing the remobilization of sediment inputs and to determine critical thresholds that depend jointly on the temporal dynamics of the flow and the geometry of the deposit. The expected results will contribute to a better fundamental understanding of the processes of erosion and sediment transport under unsteady flows, and to the improvement of existing models.

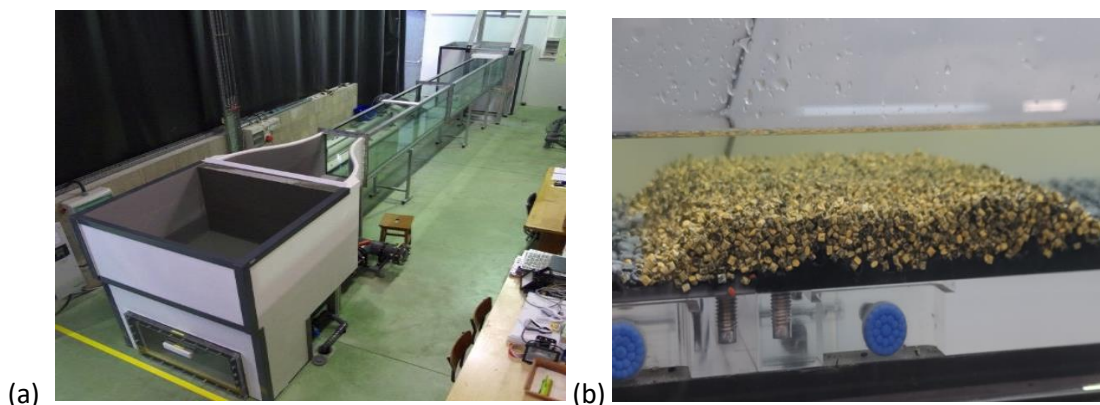


Figure 2 : a) Hydro-sedimentary channel of the pHE at the Pprime Institute b) Visualization of a modeled sediment input in the laboratory channel

Required profile/areas of competence:

Master's degree in Fluid Mechanics, Environment, or Engineering Sciences. Writing skills in English would be appreciated.

Duration: 36 months (from October 1, 2026, to October 1, 2029)

Location:

Institut Pprime, Département Fluides, Thermique et Combustion, Université de Poitiers, UPR 3346,
 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, TSA 51124
 86073 Poitiers Cédex 9, France

Supervisors:

Guillaume Gomit

guillaume.gomit@univ-poitiers.fr

Damien Callaud

damien.callaud@univ-poitiers.fr

INSTITUT Pprime . CNRS . UNIVERSITÉ DE POITIERS . ENSMA . UPR 3346 .

Adresse postale : SITE DU SP2MI - 11, Boulevard Marie et Pierre Curie Site du futuroscope - TSA 41123- 86073 POITIERS CEDEX 9 - www.pprime.fr