



Dynamique de l'érosion des sédiments fins en retenues hydroélectriques : approche combinant mesures et modélisation hydrosédimentaire des processus d'érosion sur deux retenues du Rhône et de l'Isère

36 mois à partir du deuxième semestre 2026

Enjeux & Contexte

Les particules fines représentent une part importante de la matière transportée dans les cours d'eau. Dans certaines configurations, leur accumulation peut perturber le fonctionnement des ouvrages hydroélectriques, notamment par la perte de volume utile, le colmatage des vannes de fond, ou l'augmentation du risque d'inondation. Au-delà des enjeux liés à la sûreté et à la perte de capacité utile des réservoirs, ces particules présentent également un potentiel de dégradation du milieu naturel (concentrations élevées lors de leur évacuation des retenues, aptitudes à fixer les polluants). Ces contraintes obligent les exploitants à contrôler la concentration de particules en suspension lors des opérations de dragage, de chasse, de vidange ou même d'accompagnement lors de forts flux solides. Ces problématiques sont notamment rencontrées sur les aménagements hydroélectriques d'EDF et de la CNR (Figure 1). Pour mieux anticiper leurs impacts, il est essentiel de disposer d'outils de prévision fiables du comportement physique de ces particules fines.



Figure 1 : Exemples de particules fines déposés dans des réservoirs : (a) bassin de Longefan (Arc) lors d'une chasse en 2008 (b) banc de la retenue de St Egrève (Isère) lors d'un abaissement, (c) banc de la retenue de Belley lors d'un abaissement (Rhône).

Les modèles numériques hydrosédimentaires à base physique utilisés pour prédire la dynamique des réservoirs reposent encore rarement sur une caractérisation complète et in situ des matériaux. Contrairement aux sédiments grossiers, les particules fines sont généralement cohésives et forment des floccs dont les propriétés physiques (taille, densité, vitesse de chute, contraintes critiques d'érosion et de dépôt, taux d'érosion) évoluent tout au long de leur parcours, depuis les zones sources jusqu'aux exutoires. Ces transformations sont influencées par les conditions hydrodynamiques (cisaillement, concentration en suspension), les paramètres physico-chimiques (comme la salinité), ainsi que par les phases de dépôt (tassement, consolidation, assèchement) dans les lits de rivières ou les réservoirs. Un des verrous

scientifiques majeurs réside dans la difficulté à caractériser la variabilité spatio-temporelle de ces propriétés. Au-delà du manque de mesures disponibles pour caractériser pleinement toutes ces variabilités, il y a également un travail important à mener pour traduire les mesures in situ (vitesse de chute, contraintes d'érosion, etc.) en paramètres ou variables exploitables dans les modèles numériques de transport sédimentaire.

Plusieurs équations empiriques permettent de décrire les flux d'érosion en fonction de grandeurs telles que les contraintes critiques de détachement (τ_{ce}) et les taux d'érosion (M) : Partheniades [9], Arulanadan [1], Mehta [7], Winterwerp [12]. Il existe également de nombreuses formules permettant d'estimer ces grandeurs en fonction de paramètres caractéristiques des sédiments fins (masse volumique, diamètre, cohésion non drainée remaniée, etc.). Mais il n'existe pas de loi suffisamment robuste pour l'appliquer à l'ensemble des sédiments fins et des conditions hydrodynamiques.

De nombreux dispositifs de mesures permettent d'estimer les paramètres d'érodibilité (τ_{ce} et M). Ces dispositifs réalisent des essais d'érosion qui consistent à appliquer, sur le sédiment étudié, des paliers de contraintes et à mesurer l'évolution de la quantité de sédiment érodée. Ces appareils peuvent être utilisés en laboratoire, directement in situ sur les vases sans prélèvement ou en utilisation intermédiaire quasi in situ, c'est-à-dire sur le terrain mais sur des prélèvements par carottage.

Dans les études numériques réalisées pour déterminer le flux d'érosion des sédiments cohésifs, les codes de calcul GAIA et COURLIS de la suite Open-TELEMAC (<https://www.opentelemac.org/>), par exemple, appliquent l'équation de Partheniades [9]. Les paramètres d'érodibilité M et τ_{ce} sont souvent mal connus et donc utilisés comme paramètres de calage dans les modèles d'érosion. Comme ces deux paramètres sont liés, plusieurs couples de M et τ_{ce} peuvent donner une bonne représentation pour une retenue et un événement donné, mais ne fonctionneront pas forcément dans d'autres conditions hydrauliques. Les modèles GAIA et COURLIS permettent d'estimer les concentrations en MES et les épaisseurs d'érosion ou de dépôt, qui peuvent être comparées à diverses mesures (turbidité, prélèvements, relevés topo-bathymétriques). M et τ_{ce} sont donc souvent ajustés pour rapprocher les variables modélisées des observations. Cependant, ce calage ne garantit pas que le modèle reproduise les processus physiques pour les bonnes raisons, ce qui limite la confiance dans les prédictions. Enfin, la contrainte de cisaillement varie selon la dimension du modèle (1D, 2D, 3D) du fait de méthodes de calcul différentes (pente de ligne d'énergie, vitesse moyenne, vitesse proche du fond). Par conséquent, les valeurs calées de M et τ_{ce} peuvent différer d'un modèle à l'autre.

Limitations et verrous scientifiques

Des travaux ont été engagés depuis 2016 par le LNHE, le CIH, l'IGE et CNR pour améliorer la caractérisation des propriétés d'érosion des sédiments fins. Cinq dispositifs ont été testés pour acquérir des mesures des propriétés d'érodibilité de sédiments fins de rivière ou de retenue. Les mesures réalisées par ces dispositifs permettent d'accéder aux flux d'érosion, contraintes critiques et taux d'érosion. Les appareils les plus prometteurs sont a priori : (i) le SETEG² et l'EROMES en laboratoire [10]; et l'EROMES in situ [5]. Le CSM permet aussi de réaliser un très grand nombre de mesures in situ [6]. Des campagnes de mesures en rivières ont permis de mesurer ces propriétés d'érodibilité et de quantifier leurs variabilités spatiales et temporelles, notamment liées à la variation du taux d'humidité des sédiments [4]. Ces mesures permettent de tirer des informations globales, telles qu'une cartographie schématique de la répartition des contraintes sur les sites étudiés, et fournissent des pistes de stratégie d'échantillonnage pour de nouveaux sites [4][5]. Des pistes ont été proposées pour explorer la variabilité temporelle de ces paramètres sans être concluantes. Des mesures réalisées en laboratoire en 2024 sur des vases de retenue permettent aussi de questionner les protocoles de mesure [10][3]. Les analyses de sensibilité des modèles numériques hydrosédimentaires, réalisées sur 3 exemples, indiquent une grande variabilité des résultats selon les paramètres d'érosion appliqués [5][3]. Cela suggère la nécessité d'une meilleure caractérisation des dépôts in situ. En complément des bases de

données rassemblant les valeurs disponibles dans la littérature [2][3], ces travaux récents mettent aussi en évidence les différents types d'érosion (de surface ou en masse selon [12]) rencontrés en laboratoire et in situ qui interrogent sur la validité de la transposition des mesures actuelles dans les modèles numériques et leur validité pour des contraintes qui peuvent être bien supérieures en nature.

Ces travaux récents ont permis d'identifier les principaux verrous et limitations des approches actuelles qui définissent les axes de travail de ce projet de thèse :

1. **Définir une stratégie d'échantillonnage pour caractériser l'érodibilité** des matériaux présents dans les retenues hydroélectriques (sédiments, sols, berges).
2. **Améliorer les méthodes de mesure in situ et en laboratoire** pour quantifier à la fois l'érosion et les paramètres influençant l'érosion (vitesse du courant, granulométrie, cohésion, etc.), en utilisant en particulier les dispositifs SETEG² et EROMES.
3. **Améliorer la modélisation des processus d'érosion dans les retenues** à différentes échelles en intégrant les données issues des mesures.

Objectifs et structure de la thèse

Dans le cadre de ce travail de thèse, on cherchera à répondre aux deux questions scientifiques suivantes :

- **Comment mesurer les propriétés d'érosion des sédiments fins ?**
- **Comment combiner ces mesures avec les modèles numériques hydrosédimentaires pour prédire l'évolution des retenues ?**

La thèse permettra :

- D'améliorer les dispositifs de mesure de l'érodibilité ainsi que les protocoles de post-traitement des données brutes des dispositifs SETEG² et EROMES.
- D'utiliser et développer des modèles hydrosédimentaires (ex. : TELEMAC-GAIA, MASCARET-COURLIS) sur des retenues réelles.
- De confronter ces développements sur deux études de cas de retenues sur l'Isère et le Rhône

La démarche repose sur des allers retours entre des observations *in-situ*, des expérimentations en laboratoire et l'amélioration des outils numériques existants. Cette thèse combinera les trois approches suivantes :

- **Expérimentale** qui impliquera du développement métrologique pour estimer les propriétés d'érodibilité des sédiments de retenue.
- **Numérique** pour intégrer les propriétés d'érodibilité des sédiments de retenue dans un modèle numérique.
- **Observations in situ** afin de confronter les résultats numériques aux observations de flux mesuré, d'évolution bathymétrique, etc.

La mise en forme des résultats devra faire l'objet d'un manuscrit de thèse et de deux articles dans des revues internationales. La valorisation du travail pourra faire l'objet d'une participation à un ou plusieurs colloques. En complément le travail conduira à des recommandations pour mieux appréhender la dynamique d'érodibilité des sédiments fins dans ces retenues, incluant notamment :

- Un protocole de mesure permettant de caractériser au mieux l'érodibilité sur un site d'étude (stratégie d'échantillonnage, méthodes de mesure, interprétation des résultats).
- Une base de données regroupant les mesures et interprétations réalisées pendant la thèse.

- o Des améliorations de la prise en compte des variables d'érodabilité dans les modèles numériques hydrosédimentaires utilisés ou développés pendant la thèse.

Planning prévisionnel

S1	Modélisation hydrodynamique des appareils SETEG ² et EROMES Modélisation hydro sédimentaire de 2 sites sur la base des données existantes (analyses de sensibilité, ...) Tests sur la cohérence des contraintes/taux d'érosion déduites des mesures lorsqu'on les intègre dans les modèles des appareils mentionnés précédemment	Missions à prévoir à Chatou et Lyon
S2-S3-S4	Expériences avec le SETEG ² et l'EROMES et post traitement des données Observation (Suivis de terrain et campagne de mesures in situ)	Missions à prévoir à Lyon
S5	Modélisations hydrosédimentaires sur les sites avec les nouvelles données acquises et les nouvelles méthodes de post traitement	Missions à prévoir à Chatou, Chambéry et Lyon
S6	Finalisation & rédaction du manuscrit	

Encadrement et collaborations

La thèse s'inscrit dans une collaboration entre [EDF](#) (LNHE, CIH), [CNR](#) et l'[IGE](#).

La bourse de thèse est financée par EDF et CNR pour une durée de 3 ans. La thèse sera rattachée à l'[école doctorale Sciences de la Terre, de l'Environnement et des Planètes](#) à l'UGA. Le démarrage de la thèse est prévu entre octobre et novembre 2025.

La personne recrutée sera principalement accueillie à l'IGE à Grenoble. Des déplacements seront à prévoir, en particulier pour les essais d'érosion qui seront réalisés dans les locaux de CNR (Lyon) ainsi qu'au LNHE (Chatou) et au CIH (Chambéry), pour la prise en main et l'utilisation des outils numériques. Des missions plus ponctuelles sur le terrain sont à envisager pour participer aux campagnes de mesures.

Directeur de thèse : Cédric Legoût

Encadrement EDF : Magali Jodeau, Eric Valette

Encadrement CNR : Hanna Haddad, Pierre Nunes

Un comité de thèse comprenant des membres externes à l'encadrement de la thèse (experts scientifiques et représentants opérationnels locaux) sera constitué en première année et se réunira chaque année avant chaque réinscription en thèse.

Profil recherché et détails sur la candidature

La personne sera sélectionnée sur un recrutement ouvert et international. Elle devra avoir de solides bases en hydraulique et si possible des notions en géotechnique et/ou géomorphologie. Des compétences en programmation (R, Python, ...) sont indispensables pour analyser l'ensemble des données qui seront acquises à la fois expérimentalement et numériquement par modélisation hydrosédimentaire à base physique. Un intérêt pour le travail de terrain et des mesures ou expériences en laboratoire est souhaité.

Pour candidater, merci de transmettre un CV et une lettre de motivation à magali.jodeau@edf.fr, h.haddad@cnr.tm.fr et cedric.legout@univ-grenoble-alpes.fr avant le 15 juin 2026.

Références

- [1] Arulanandan, K., Gillogley, E., and Tully, R. (1980). Development of a quantitative method to predict critical shear stress and rate of erosion of natural undisturbed cohesive soils.
- [2] Collion, D. (2023). Rapport de stage, Caractérisation des sédiments cohésifs des retenues : synthèse et analyse des données disponibles.
- [3] Dury, H. (2024). Rapport de stage, caractérisation des sédiments cohésifs de retenue.
- [4] Haddad, H., Jodeau, M., Legout, C., Antoine, G., and Droppo, I. G. (2022). Spatial variability of the erodibility of fine sediments deposited in two alpine gravel-bed rivers : The Isère and Galabre. *CATENA*, 212 :106084.
- [5] Haddad, H., Legout, C., and Jodeau, M. (2023). Spatial variability of erodibility of fine sediments deposited in gravel river beds : from field measurements to 2d numerical models. 23(10) :3602–3619.
- [6] Legout, C., Droppo, I., Coutaz, J., Bel, C., and Jodeau, M. (2018). Assessment of erosion and settling properties of fine sediments stored in cobble bed rivers : the arc and isere alpine rivers before and after reservoir flushing. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- [7] Mehta, A. J. / Hayter, E. J. / Parker, W. R. / Krone, R. B. / Teeter, A. M. Cohesive sediment transport. I: Process description 1989 *Journal of hydraulic Engineering* , Vol. 115 p. 1076-1093
- [8] Orvain, F., Guizien, K., Lefebvre, S., Bréret, M., and Dupuy, C. (2014). Relevance of macrozoobenthic grazers to understand the dynamic behaviour of sediment erodibility and microphytobenthos resuspension in sunny summer conditions. 92 :46–55. Trophic significance of microbial biofilm in tidal flats.
- [9] Partheniades, E. (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*.
- [10] Pellerin, N. (2024). Rapport de stage, Inter-comparaison entre 2 érodimètres afin d'établir des lois d'érosion de sédiments fins.
- [11] Widdows, J., Friend, P., Bale, A., Brinsley, M., Pope, N., and Thompson, C. (2007). Inter- comparison between five devices for determining erodability of intertidal sediments. *Continental Shelf Research*.
- [12] Winterwerp, J. C., van Kesteren, W. G. M., van Prooijen, B., and Jacobs, W. (2012). A conceptual framework for shear flow induced erosion of soft cohesive sediment beds. 117(C10).