

Etudes de danger des digues de protection contre les crues torrentielles : combinaison d'approches simples pour la prise en compte de l'aléa « transport solide »

Risk analysis of embankment systems in torrential contexts: combination of simple approaches for the qualification of the "sediment transport" hazard

Rabab YASSINE* (EGIS, Montpellier, France), **Charles LYSENSOONE** (EGIS, Grenoble, France), **Nelly MAAMIR** (SYMBHI), **Sandra COLAUTTI** (SYMBHI)

*auteur correspondant

1. Contexte

Sur les terrains de montagne, c'est le transport solide par charriage qui donne le caractère aléatoire et dévastateur des crues torrentielles. Le déficit de matériaux peut provoquer l'affouillement des ouvrages, problématique qui concerne les pieds de digues pouvant entraîner un basculement. L'engravement du lit en cas de forts dépôts de matériaux peut exhausser le lit et engendrer des débordements. Les aléas torrentiels doivent donc s'appuyer sur l'analyse de plusieurs scénarios qui dépendent des types de phénomènes torrentiels (charriage, charriage hyper-concentré, lave torrentielle), des paramètres hydrologiques (débit de pointe, durée de crue), des facteurs aggravants (transport de flottants) et des points singuliers favorables aux débordements (ponts, seuils, etc.) [3].

Les textes réglementaires et les guides méthodologiques sur les digues n'approchent que très succinctement le contexte torrentiel et ses spécificités. Les débits liquides, les hauteurs de débordement et la durée de crue sont les paramètres principalement abordés. Toutefois, dans le domaine torrentiel, les durées de crue sont très courtes et c'est le couplage débit liquide/débit solide qui est à l'origine des dégâts observés parfois même avant que des débordements se produisent [3]. Les zones protégées sont difficiles à identifier au vu des phénomènes d'avulsion totalement aléatoires que peuvent connaître des rivières torrentielles ou des torrents lorsque le lit est obstrué.

Très peu de retours d'expérience spécifiques à la gestion des digues en milieu torrentiel existent aujourd'hui. L'approche présentée dans ce papier consiste donc à combiner différentes méthodes adaptées aux contraintes temporelles des bureaux d'études, considérant une expertise hydromorphologique basée sur des analyses historiques, des calculs du transport solide à l'échelle de la section en travers et un couplage entre une modélisation hydro-sédimentaire 1D simple à déployer considérant l'utilisation du modèle EVOFOND [1][2] avec un logiciel plus adapté pour une analyse hydraulique du type HEC-RAS. Cette méthode a été déployée pour l'analyse des systèmes d'endiguement de la Bonne, rivière torrentielle, affluent en rive droite du Drac et sur le torrent de l'Arselle, affluent de la Romanche situé sur le massif de Belledonne sous maîtrise d'ouvrage du SYMBHI.

2. Méthode pour la qualification de l'aléa transport solide

2.1 Analyse historique

L'analyse historique permet d'apporter des éléments de compréhension de l'évolution du cours d'eau vis-à-vis des pressions endurées et de retracer l'évolution des aménagements et des dysfonctionnements associés. L'exemple de la bande active de la Bonne (Figure 1A) a permis de comprendre l'ajustement du cours d'eau face aux pressions anthropiques et d'identifier les événements morphogènes ayant eu lieu (Figure 1B). Une analyse de l'évolution du profil en long a également été réalisée et elle a permis d'identifier la pente caractéristique des apports, de retracer l'historique d'évolution du fond, d'identifier les zones de régulation amont et aval (confluence, singularité en aval, engravement régressif, etc.), de localiser et d'expliquer d'éventuelles discontinuités.

2.2 Quantification de l'aléa transport solide

Il existe une grande variété de formules de transport solide dans la littérature. La principale difficulté réside dans le choix de la formule appropriée. La plateforme BedloadWeb [4] offre la possibilité de comparer les résultats obtenus avec les différentes équations disponibles dans la littérature ce qui rend le choix de la formule adaptée au terrain d'étude plus aisé. Une analyse bibliographique des cours d'eau ayant des caractéristiques proches de la Bonne a été

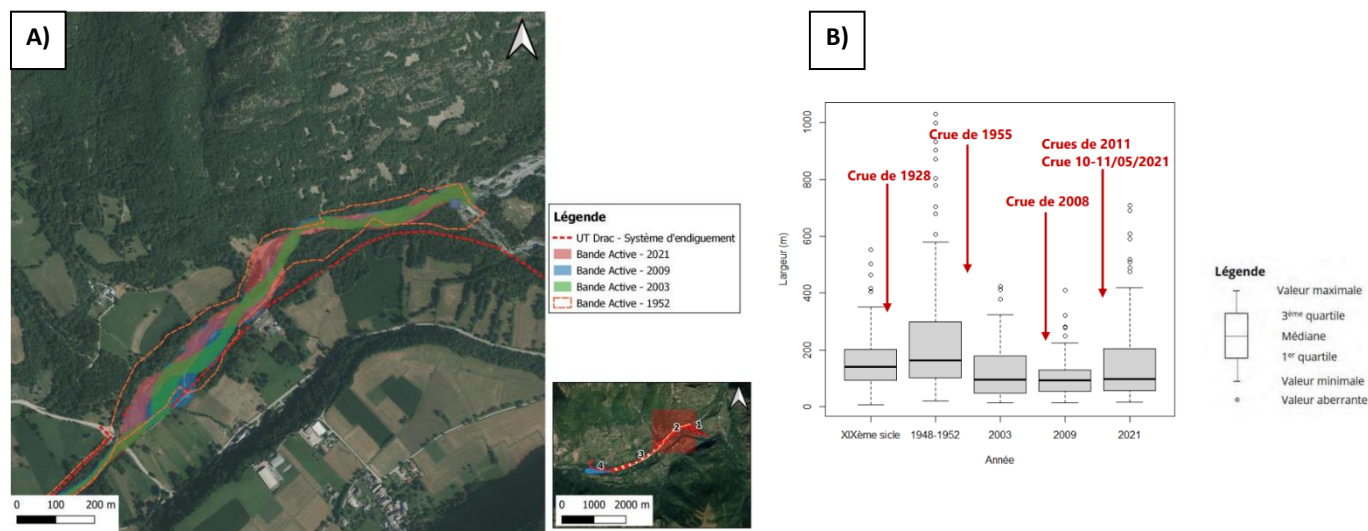


Figure 1 : A) Exemple d'analyse de l'évolution historique de la bande active de la Bonne (Affluent du Drac) sur environ 70 ans ; B) Association des évolutions observées avec les crues ayant eu lieu pour l'identification des événements morphogènes

effectuée pour identifier les formules de transport solide adaptées et effectuer une analyse critique des résultats obtenus. Les critères de comparaison retenus sont la pente, la largeur et la granulométrie du cours d'eau.

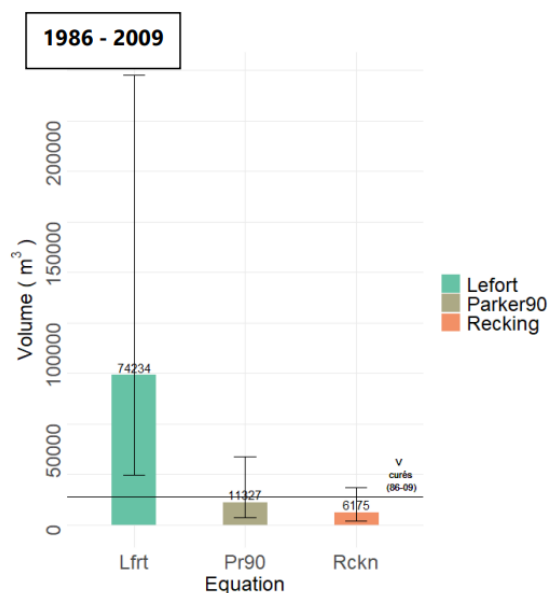


Figure 2 : Volumes solides annuels transportés entre 1986 et 2009 sur la Bonne à Mal-Ras

Les calculs du transport solide ont été effectués à l'échelle annuelle et événementielle avec des formules adaptées au terrain d'étude (Figure 2). Etant donné que l'étude s'inscrit dans un contexte sécuritaire, la détermination des aléas de référence « transport solide » ont été estimés avec : la formule de Lefort (2017) pour les phénomènes extrêmes et la formule de Recking (2013) pour le transport sédimentaire moyen annuel. Les aléas de référence ont ensuite pu être déterminés en croisant l'hydrologie, les calculs du transport solide ainsi que les différents phénomènes physiques pouvant impacter le cours d'eau (Tableau 1).

Tableau 1 : Détermination des aléas de référence sur la Bonne

Catégorie d'aléa	Courant	Fort	Exceptionnel	Ouvrages concernés par l'aléa
Aléa hydraulique	Q_2	Q_{10}	Q_{100}	Toute la zone d'étude
Aléa transport solide	Volume Q_2	Volume Q_{10}	Volume Q_{100}	Toute la zone d'étude
	Recking (2013)	Lefort (2017)	Lefort (2017)	
Aléa embâcles	Existe	Existe	Existe	Ponts des Fayettes et Verneys

Les volumes estimés ont ensuite été injectés dans le modèle hydro-sédimentaire 1D réalisé avec le code de calcul EVOFOND selon plusieurs scénarii d'apports solides dans l'objectif d'apporter de nouvelles informations et d'enrichir l'expertise. La simulation de plusieurs combinaisons possibles de scénarios a été testée (variation des volumes injectés, de débit, variations de pente, de largeur du lit, etc.).

REFERENCES

- [1] Kuss, D. (2022). *Modélisation unidimensionnelle d'évolution de fond de lit lors de crues torrentielles avec transport solide par charriage. Identification des modèles adaptés au contexte torrentiel et présentation de leur contexte d'application*. Rapport ONF-RTM pour la DGPR.
- [2] Kuss, D., Quefféléan, Y., Carlados, S., & Martin, R. (2022). *EVOFOND : un modèle 1D pour la simulation des processus d'érosion et de dépôt survenant au cours de crues torrentielles intenses*.
- [3] Quefféléan, Y., Carlados, S., Piton, G., Kuss, D., Fouquet, M., & Tourment, R. (2019). Spécificités des systèmes d'endiguement et de l'analyse de risque. *Digues Maritimes et Fluviales de Protection contre les Inondations*.
- [4] Recking, A. (2019). Récupéré sur BedloadWeb: <https://www.bedloadweb.com/>