

Apport des modèles physiques hydrauliques pour l'évaluation des risques et la conception d'aménagements hydrauliques dans le contexte des rivières torrentielles de la Réunion

Contribution of hydraulic physical models for hazards assessment and hydraulic structures design in the context of the Reunion Island torrential rivers

Auteur correspondant : Sébastien ROUX, CNR-CACOH, 4 rue de Chalon/Saône - 69007 LYON, s.roux@cnr.tm.fr

Auteurs de la communication : Sébastien ROUX , CNR-CACOH, Lyon, France
 Christophe PETEUIL, CNR-CACOH, Lyon, France

En raison de leur pente élevée, les cours d'eau de montagne disposent d'une énergie considérable qui permet aux écoulements s'y développant en période de crue de provoquer une érosion et un transport intense de sédiments. Ce transport concerne une gamme étendue de particules et prend des formes variées : charriage, suspension, laves torrentielles... Les fortes interactions entre les phases liquide et solides des écoulements avec charriage intense ont une influence prépondérante sur l'hydraulique à l'origine de ce transport, celle-ci étant elle-même affectée par les faibles profondeurs relatives typiques des fortes pentes. Ces interactions se traduisent par des modifications rapides et violentes du profil en long, et par des changements du tracé en plan des chenaux d'écoulement. Des variations du niveau du lit plusieurs fois supérieures au niveau d'eau moyen sont fréquemment observées. Elles sont à l'origine de la plupart des désordres et donc des aléas à évaluer pour tenir compte des phénomènes liés au charriage torrentiel.

De ce point de vue, l'Ile de la Réunion, par sa localisation géographique et ses caractéristiques géomorphologiques, réunit tous les ingrédients d'une situation à très haut risque : (1) des cyclones à l'origine de pluies diluviennes, (2) des reliefs abrupts donnant aux écoulements une énergie considérable, (3) des terrains volcaniques fragiles alimentant une charge sédimentaire abondante et (4) une population densément concentrée en bordure des ravines à la rupture de pente entre les versants et le littoral. Cette situation a conduit à l'endiguement de nombreuses ravines et à l'exploitation outrancière de gisements alluviaux abusivement jugés inépuisables. Le développement de voies de communication routière a nécessité la construction de ponts ayant un ou plusieurs appuis en lit mineur pour franchir le débouché des larges rivières descendant des reliefs. A cause d'évolutions morphologiques spectaculaires souvent multifactorielles, plusieurs de ces ponts sont menacés de destruction et certains ont même déjà été emportés lors d'événements récents. De nombreuses études ont été menées lors des dernières décennies sur différents projets d'endiguement et de franchissement, en mettant judicieusement en œuvre des modèles physiques à fond mobile. L'objectif de cette communication est d'illustrer, au travers de 3 études cas (tableau 1), l'apport essentiel des modèles physiques à fond mobile pour l'évaluation des risques et la conception d'aménagements hydrauliques dans le contexte torrentiel typique des cours d'eau à forte pente et charge solide intense de la Réunion.

Cours d'eau	Superficie (km ²)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	d ₅₀ (cm)	Pente moyenne de la zone d'étude (%)	Echelle du modèle physique
Rivière des Pluies	45	650	1150	5	2.30	1/80
Rivière des Galets	105	1130	3400	8	1.90	1/60 et 1/30
Rivière des Marsouins	114	1355	2610	18	0.50	1/80

Tableau 1 : Principales caractéristiques des cours d'eau étudiés.

Pour appréhender la dynamique des cours d'eau torrentiels de la Réunion et les effets à plus ou moins long terme des aménagements dont ils ont fait l'objet, les approches usuelles de l'ingénierie fluviale dissociant l'hydraulique et le transport solide sont en effet inopérantes. Les aménagements dimensionnés et conçus sans tenir compte des phénomènes spécifiques aux fortes pentes ni de l'interaction entre phases liquides et solides conduisent, au mieux à des investissements inutiles, au pire à des dysfonctionnements et à des évolutions non souhaitées dont les conséquences sont potentiellement dévastatrices pour la sécurité des personnes et des biens censés être protégés.

Le premier cas abordé pour illustrer cette problématique est celui de la Rivière des Marsouins. Suite à une série d'études menées sur modèles numériques à fond fixe par différents bureaux d'ingénierie, un projet d'aménagement avait été conçu pour prévenir une aggravation des risques de débordement par la mise en charge du pont situé le plus en aval de la zone urbaine dès Q₅₀ d'une part, et le dépôt régressif formé par l'accumulation des sédiments transportés

au débouché dans l'Océan Indien d'autre part. Ce projet prévoyait notamment (1) la réalisation d'un déversoir latéral pour décharger les écoulements à l'amont immédiat du pont et/ou (2) la surélévation du tablier. A la demande du maître d'ouvrage, une étude sur modèle physique à fond mobile a été conduite par CNR pour confirmer ce diagnostic et, le cas échéant, pour optimiser le fonctionnement et le coût des aménagements envisagés. Les essais réalisés ont montré en premier lieu que le risque de dépôt régressif devenait rapidement insensible car la géométrie du débouché en mer et l'avancée de la nappe de charriage au-delà du trait de côte initial atténuent efficacement les variations altimétriques des fonds. Aucun des essais réalisés, y compris ceux représentant la configuration de lit pavé observée sur le terrain au droit du pont, n'a par ailleurs conduit à la mise en charge du pont, même pour des débits largement supérieurs au débit centennal. Le dépavage du lit s'initiant au-delà de Q_{10} est la principale cause expliquant cette situation. Ainsi pour Q_{100} , la vitesse de l'écoulement atteint 8 m/s, la mobilité des fonds devient intense et l'incision du lit varie entre 2 et 4 m. L'étude sur modèle physique a donc permis de démontrer l'inutilité des investissements projetés mais également que l'affouillement était un aléa bien plus préjudiciable que le dépôt et le débordement.

Le cas de la Rivière des Galets illustre, pour la conception d'un aménagement, l'intérêt de considérer non seulement l'événement de projet mais aussi toute la gamme de crues intermédiaires. Les essais réalisés sur modèles physiques à fond mobile pour l'étude des ouvrages d'endiguement et de franchissement équipant ce cours d'eau ont en effet mis en lumière une dynamique d'écoulement très diverse selon le débit considéré. Pour les fortes crues, la rivière suit un tracé assez rectiligne et occupe la quasi-totalité du lit endigué. Ce type d'événement est donc très dimensionnant en termes de capacité hydraulique à donner à l'ouvrage pour assurer le passage des crues sans débordement. Pour les crues ordinaires, l'écoulement se concentre souvent dans un bras unique et étroit dont le tracé en plan est très divagant. Il conduit à d'importantes érosions au niveau des fondations du système d'endiguement en raison de valeurs d'angle d'attaque et de vitesse d'écoulement beaucoup plus élevées que pour les fortes crues. Par leur agressivité accrue, ces événements conditionnent le mode et la cinétique de rupture des ouvrages d'endiguement réalisés. Par leur fréquence, ils ont un impact morphologique cumulé tout aussi important que les fortes crues, comme l'a montré la succession de petites crues observée durant la saison cyclonique 2018. Ainsi, ils conditionnent largement le budget d'entretien de ce type d'aménagement et déterminent aussi le rythme de suivi à mettre en place par le maître d'ouvrage pour assurer une surveillance pertinente du dispositif dont il a la responsabilité. Pour autant, il est essentiel d'avoir conscience qu'un suivi topographique, aussi fréquent et précis soit-il, ne peut rendre compte de l'importance des phénomènes d'affouillements intervenant à l'échelle locale et de manière transitoire en cours d'événement. Pour l'étude du nouveau pont de la Rivière des Galets par exemple, l'écart relatif entre la profondeur d'affouillement maximum observée autour des piles pendant l'essai et en fin d'essai a conduit à mesurer des taux de remblaiement allant de 30 à 80% selon les conditions hydrauliques considérées. Une fois ces phénomènes identifiés et quantifiés, il est crucial d'en tenir compte en augmentant la profondeur des fondations de l'ouvrage et/ou en prévoyant des dispositifs paraffouilles capables de résister à des vitesses considérables. Celles-ci varient dans une gamme comprise entre 7 et 13 m/s sur la Rivière des Galets, plusieurs options ont été testées (enrochements libres, blocs artificiels et enrochements câblés) et il est maintenant possible, grâce à ces essais, de comparer leur efficacité.

Les antidunes correspondent aussi à un autre type de phénomène spécifique aux écoulements torrentiels qu'il a été essentiel de prendre en compte dans la conception d'un nouveau pont en projet sur la Rivière des Pluies. Ces phénomènes peuvent être décrits comme des oscillations régulières du fond et de la surface de l'eau remontant classiquement vers l'amont. Sur la Rivière des Pluies, leur formation conduit à un enfoncement temporaire et brutal du lit qui atteint une amplitude verticale de l'ordre de 3 à 5 m. Cet enfoncement ne concerne cependant qu'une faible partie de la section transversale à un instant donné, de telle sorte que seule une rangée de piles est en principe atteinte à la fois. Combinée à un enfoncement général du chenal au centre du bras vif et à des surcreusements localisés autour des piles, cette situation conduit à des affouillements totalisant 8 m de profondeur, soit des variations du fond nettement supérieures à la hauteur d'eau (1.5 à 2.0 m selon le débit). A nouveau, le modèle physique à fond mobile s'avère ici d'un intérêt indéniable pour appréhender tous ces phénomènes d'érosion locale très complexes, qui restent à ce jour encore difficiles à prédire et à quantifier malgré de récentes avancées dans ce domaine (Link et al, 2019).

REFERENCES

- [1] Link *et al.*, Scour at Bridge Foundations in Supercritical Flows: An Analysis of Knowledge Gaps. Water, MDPI, 2019, 11 (8), pp.1656.