

Analyse des paramètres morphodynamiques pour l'étude de dangers de la digue du Torrent des Eaux Chaudes

Analysis of fluvial morphodynamic parameters on risk assessment for dikes in a torrentiel context

Lucas Humbert¹, Thomas Lamberet¹, Olivier Vignouille¹, Laura Vinay²

¹ SCE Marseille 1120 route de Gémenos - Centre d'affaire Alta Rocca Bâtiment G - 13400 AUBAGNE - (corresponding author : thomas.lamberet@sce.fr). ² Syndicat Mixte d'Aménagement de la Bléone – Avenue Arthur Roux – 04350 MALIJAI

RÉSUMÉ

La rivière torrentielle alpine des Eaux Chaudes est le théâtre de crues spécifiques, caractérisées par un transport important de matériaux dans des temps relativement courts, notamment dans la traversée de la zone urbaine de Digne-les-Bains (04).

Le lit de la rivière se caractérise par une évolution régulière du fond sous l'effet des phénomènes de dépôts et d'érosion lors des crues. Ce phénomène complexe de respiration est actuellement difficile à quantifier de façon fiable et peut présenter une variabilité importante d'une crue à l'autre. Or, dans le contexte de la présence d'un système d'endiguement en zone urbaine, comme cela est le cas pour l'aval du torrent, l'évaluation du transport solide devient d'autant plus importante que son impact sur les écoulements en crue peut être prépondérant dans le cadre de l'évaluation des risques inondation pour les enjeux présents. Avec le renforcement de la réglementation depuis le décret « digues » du 12 mai 2015, la caractérisation de la performance des systèmes d'endiguement doit être la plus fine possible.

Notre étude a eu pour objectif de mettre en évidence des éléments méthodologiques propres au diagnostic morphodynamique et du transport solide du torrent des Eaux Chaudes au droit d'un système d'endiguement, faisant l'objet d'une étude de dangers. L'objectif étant d'intégrer l'aléa torrentiel propre aux apports solides dans le cadre de l'analyse de sûreté de l'ouvrage de protection, notamment à travers le croisement de l'analyse du profil en long et la modélisation hydraulique du torrent.

ABSTRACT

The torrential river of Eaux Chaudes ends its alpine layout in the urban area of Digne-les Bains. Its floods are characterized by significant sediment transport and relatively short duration.

The morphology of the stream bed is thus defined by regular movements of bedload under the effect of sediments deposits and erosions during floods. These phenomena are translated for a breathing of the bed's bottom complicated to quantify. This sedimentary functioning becomes is even more strategic to understand, in the case of a levee presence. Indeed, alluvial dynamics would have a significant influence on depth water and levee's protection level during floods.

This study aims to highlight methodological steps to realize a bedload transport diagnosis right next to a dike. The purpose is to incorporate the torrential and sedimentary risk as part of the safety analysis of the protection structure. In order to complete the diagnosis, trends in evolution of the long profile, due to solid transport, have been integrated into a 2D hydraulic model.

MOTS CLES

Etude de dangers, système d'endiguement, transport solide, équilibre sédimentaire, profil en long

1 METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT MORPHODYNAMIQUE

1.1 Etude de danger du système d'endiguement en contexte torrentiel

Le torrent des Eaux Chaudes est un affluent de la Bléone, il se caractérise par un bassin d'une superficie de 60 km² qui se situe à l'ouest de la Montagne de la Coupe. Le système d'endiguement étudié se situe en aval du bassin, dans la zone urbaine de Digne-les-Bains (04), en rive droite du torrent sur un linéaire de 440 m. La structure de l'ouvrage se compose de quatre tronçons homogènes, constitués d'anciens murs en pierres maçonnées et de remblais protégés par des enrochements libres.

Le système d'endiguement protège une zone d'habitat et d'activité dense représentant une population d'approximativement 5 720 personnes. Le niveau de sureté de l'ouvrage (croisement entre performance hydraulique de maintien de la crue sans débordement et performance mécanique de résistance de l'ouvrage lors de l'évènement) est évalué comme correspondant au passage d'une crue d'occurrence décennale.

1.2 Contexte technique et réglementaire

L'article 11 de l'arrêté du 7 Avril 2017, définit notamment ce qu'est le niveau de protection d'un système d'endiguement. En contexte torrentiel, la détermination des conditions hydrauliques lors du passage d'une crue ne semblent pas suffisante pour retranscrire le risque inondation. En effet, pour un même débit liquide, en fonction du débit solide charrié pendant la crue et de sa redistribution spatiale lors de la décrue, les risques de débordements et les sollicitations hydrauliques sur les ouvrages peuvent présenter de fortes variations.

Dans ce sens, l'arrêté modificatif du 30 septembre 2019 a apporté un assouplissement de la définition et la justification du niveau de protection pour les contextes spécifiques en proposant l'intégration « d'autres paramètres observables [...] pour caractériser le niveau de protection, lorsqu'il n'est pas possible de préciser quantitativement le risque résiduel de rupture ».

Ce besoin d'intégration quantitative du débit solide et de ses incidences sur la forme du torrent dans l'analyse réglementaire du niveau de protection d'un système d'endiguement est par ailleurs régulièrement mis en avant par les gestionnaires de ce type d'ouvrage.

1.3 Sélection des paramètres morphodynamiques

Une méthodologie de diagnostic morphodynamique a été développée pour l'étude du torrent des Eaux Chaudes au droit du système d'endiguement. Ce mode opératoire repose sur le croisement de plusieurs paramètres permettant de quantifier ou de qualifier les phénomènes mis en jeu :

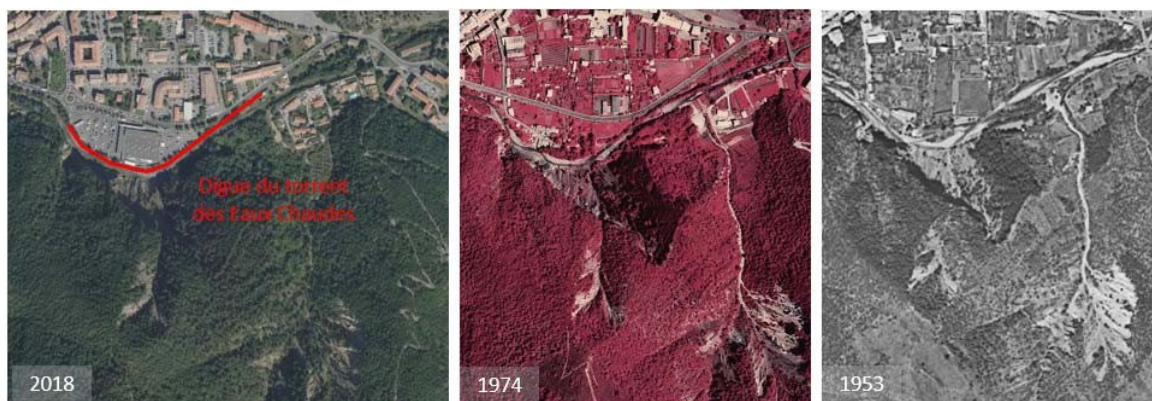
- Implantation des ouvrages par rapport à l'évolution de l'emprise et du profil en long du torrent ;
- Evaluation de la granulométrie et du niveau de colmatage du substrat, ainsi que des apports solides disponibles ;
- Evaluation des capacités de charriage du cours d'eau et des volumes de matériaux pouvant transiter ;
- Quantification des forces érosives en crues issue d'une modélisation hydraulique 2D.

2 RESULTATS DE LA METHODE

L'analyse des paramètres morphodynamiques a permis de contextualiser les tendances morphométriques actuelles du torrent, puis de déterminer, avec plus de précisions, les risques de débordements associés à une situation pénalisante en termes de transit sédimentaire (réhausse du fond lors d'épisodes de charriage importants).

2.1 Analyse de l'évolution du cours d'eau

L'analyse diachronique du tracé du cours d'eau a mis en évidence la localisation de l'ouvrage dans l'emprise de mobilité historique. Couplés aux observations de terrain, ces éléments ont également permis de cibler les désordres érosifs apparents (incision du lit, érosions latérales et déchaussement d'ouvrage, etc.) en lien avec la perturbation de l'emprise d'équilibre du torrent.



Extrait de l'analyse diachronique du torrent et des sources d'apport solides au droit de la digue

2.2 Evaluation du transport solide par charriage et du profil en long

Une analyse par sous-tronçon homogène a permis d'évaluer les capacités de charriage moyennes du cours d'eau au droit de la digue du torrent des eaux Chaudes. Ces dernières sont comprises entre 15 000 m³ à 40 000 m³ pour une crue centennale. Cette analyse a également permis d'établir une tendance locale au transfert de la charge solide vers l'aval, favorisant l'activité érosive plutôt que l'exhaussement du lit. Ces résultats confirment ainsi les observations de terrain.

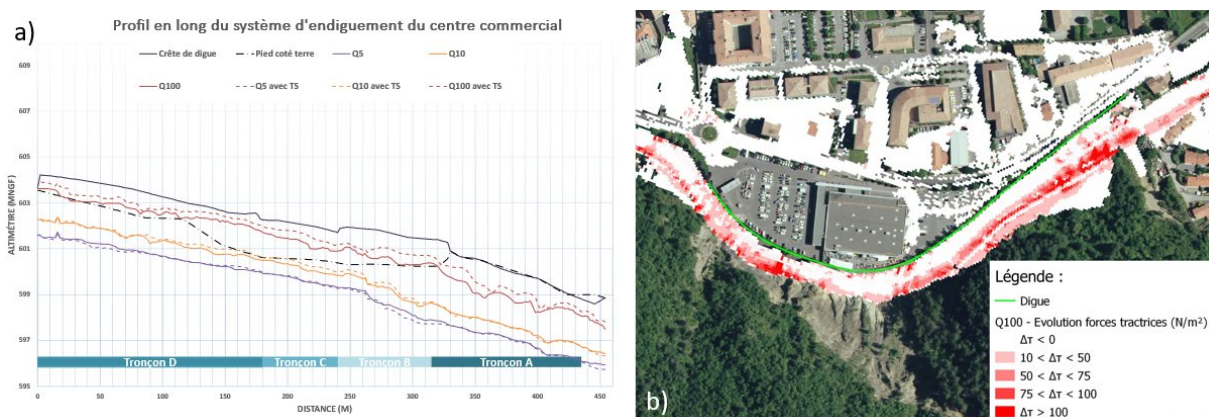
Au sein du secteur étudié, deux sous-tronçons de moindre capacité ont néanmoins été relevés comme plus sensibles aux phénomènes de dépôts de matériaux lors des décrues. Pour mieux comprendre ce phénomène, un bilan de stockage des matériaux au droit de la digue a été réalisé en retenant des hypothèses pénalisantes à savoir des apports solides en excès et une rétention totale au droit du sous-tronçon ayant les plus faibles capacités de transit.

Sur la base de ces hypothèses, le profil en long post-cruve du fond du lit a été modifié pour tenir compte des exhaussements associés aux dépôts de matériaux au droit des sous-tronçons les plus sensibles. Les amplitudes d'exhaussement suivantes ont été évaluées :

- 0,25 m à 0,55 m pour une crue Q5 ;
- 0,50 m à 0,85 m pour une crue Q50 ;
- 0,25 m à 0,75 m pour une crue Q10 ;
- 0,80 m à 1,0 m pour une crue Q100.

2.3 Modélisation hydraulique 2D en contexte sédimentaire pénalisant

Sur la base de ce nouveau profil, de nouvelles modélisations hydrauliques du torrent ont été conduites pour quantifier l'évolution des principales caractéristiques physiques des écoulements au droit du système d'endiguement (niveaux d'eau, débits, forces tractrices) avec ou sans prise en compte du transport solide. L'analyse des données a pu mettre en exergue une faible évolution pour des occurrences de crues fréquentes (<Q10) et des évolutions assez importantes pour des occurrences de crues rares à exceptionnelles.



Analyse comparative du profil en long et des lignes d'eau (a) et de l'évolution des forces tractrices avec l'intégration d'un risque de rehaussement du lit associé au transport solide (b)

Dans notre cas de figure, les niveaux de protection étant relativement bas pour le système d'endiguement en l'état actuel (Q10), le niveau de protection final du système ne se s'est pas vu modifié par les conclusions de cette analyse.

Pour autant, l'approche technique d'analyse du comportement morphodynamique répond favorablement au besoin d'appréciation fine des risques vis-à-vis des populations en situation de crue et permet à la collectivité d'affiner ses mesures de surveillance et de gestion en cours et après les épisodes de crue.

BIBLIOGRAPHIE

CEREMA (2018). Étude de dangers de systèmes d'endiguement - Concepts et principes de réalisation des études. Edition CEREMA. 62 pages

Humbert. H., Vignouille. O. Lamberet. T. (2019) Etude de dangers du système d'endiguement du centre commercial de Digne-les-Bains. SCE. Provence-Alpes Agglomération. 232 pages.