

# Evaluation de la performance de digues comportant des infrastructures : méthode basée sur la formalisation des connaissances

Pascal Di Maiolo <sup>1</sup>, Corinne Curt<sup>1</sup>, Laurent Peyras <sup>1</sup>, Remy Tourment <sup>1</sup>, Bruno Beullac <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Inrae 3275 route de Cézanne CS 40061 13182 Aix en Provence, France

*pascal.dimaiolo@inrae.fr / {prénom.nom}@inrae.fr*

## RESUME

Les infrastructures de gaz, eau... peuvent générer des dégradations et donc une possible atteinte à l'intégrité et à la durabilité des digues dans lesquelles elles sont présentes. Notre travail porte sur l'influence de ces réseaux sur la performance de la digue qui les contient ou les supporte. Dans un premier temps, nous avons identifié les mécanismes de dégradation des digues en remblai pouvant provenir d'une défaillance d'une infrastructure. L'étape suivante consiste à l'identification et la formalisation de 10 indicateurs d'état spécifiques qui assurent une évaluation robuste (répétable et reproductible) comme par exemple « Interaction entre les gestionnaires de la digue et des réseaux » ou « Compactage et remblaiement des tranchées de pose des réseaux ». Une fois ceux-ci recensés et formalisés, ils sont agrégés puis intégrés dans les modèles d'évaluation pour évaluer la performance et la sécurité des ouvrages. Cette méthode a été testée avec succès sur plusieurs configurations de digues présentant des réseaux traversant, dans une approche de validation par jugement expert. Ces travaux ont été développés pour le mécanisme de détérioration d'érosion interne.

**Mots-clefs :** Digue, défaillance, évaluation, aide à la décision, réseau

## I. INTRODUCTION

La défaillance d'un ouvrage hydraulique, barrage ou digue, est susceptible d'avoir des conséquences lourdes en termes de vies humaines, de pertes économiques et de dommages environnementaux. Dans ce contexte, la réglementation française sur la sécurité des ouvrages hydrauliques a été renforcée à partir du décret du 11 décembre 2007. Avec la parution de la loi MAPTAM du 27 janvier 2014, une série de mesures visant à clarifier et renforcer les compétences décentralisées ont été mises en place pour ce qui concerne plus spécifiquement les digues et autres ouvrages de protection contre les inondations. Ces dispositions entrées en vigueur le 1er janvier 2018 créent la compétence de la maîtrise d'ouvrage sur le territoire en matière de Gestion des Milieux Aquatiques et de Prévention des Inondations (Gemapi) attribuée aux communes ou aux établissements publics de coopération intercommunale si la commune ne peut assumer seule. En France, la réglementation impose aux gestionnaires la réalisation périodique de diagnostics et d'études de dangers sur ces ouvrages. L'évaluation de la performance des digues ou des barrages,

liée aux problématiques intrinsèques des ouvrages (vieillesse, défaut d'entretien ou de maintenance, conception ou réalisation non conforme) ou en lien avec les aléas naturels du territoire (crues, séismes), est fondamentale pour les exploitants ou les propriétaires chargés des activités de surveillance, d'entretien et d'exploitation. Le maintien de la sécurité des ouvrages rend donc important le développement de méthodes et d'outils d'aide à la décision permettant d'évaluer leur performance et leur sécurité. La performance est définie comme l'aptitude d'une infrastructure ou d'un composant à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu. La perte de performance est liée à des détériorations causées par de nombreux phénomènes dynamiques plus ou moins liés tels que la perte d'étanchéité ou l'érosion ayant des origines variées et souvent multiples [1]. Or, l'évaluation de la performance passe par plusieurs méthodes complémentaires (modélisation physique, auscultation des ouvrages, observations visuelles...) qui nécessitent l'avis d'experts du domaine pour conclure. Aussi, des travaux menés ces dernières années ont conduit à la modélisation de raisonnements experts pour l'évaluation de la performance sous la forme de systèmes à base de connaissances basés sur des indicateurs [2]; [3].

Cet article s'inscrit dans la suite de ces travaux et s'intéresse plus particulièrement à la problématique de la prise en compte de l'influence sur la performance des digues de la présence d'infrastructures (réseaux d'eau, d'énergie, de télécommunication...). L'objectif est de recenser les données pertinentes pour le diagnostic relatif à l'interaction entre ces infrastructures et la digue. Le diagnostic est examiné uniquement selon un angle de préjudice possible pour la performance de la digue : par exemple en cas de fuites d'eau d'une canalisation vers le corps de digue ou inversement d'une fissure dans une conduite créant un départ de matériau de la digue vers cette conduite. Nous proposons une analyse des interactions infrastructures-digues qui débouche sur une première identification d'indicateurs permettant de caractériser l'effet de telles infrastructures sur la performance des digues.

## II. METHODOLOGIE

La démarche comporte 4 étapes. Trois experts des ouvrages hydrauliques ont été impliqués au cours de séances de recueil et formalisation des connaissances.

La première étape repose sur la méthode des 5M [5]. Le diagramme des 5M est un outil de « démarche qualité » qui permet d'analyser de manière synthétique l'ensemble des causes d'un problème. Il permet ici de structurer la recherche de données en les classant par familles selon la typologie « Main d'œuvre, Matériel, Méthodes, Milieu, Matière ». L'objectif est de fournir un ensemble de causes possibles à la dégradation d'une digue du fait de la présence d'une infrastructure. Toutes les phases de vie de l'infrastructure sont considérées : conception (exemple : caractéristiques des canalisations), installation (exemple : contrôle du compactage), fonctionnement (exemple : maintenance des canalisations). Au total 34 données ont été identifiées pour l'ensemble des modes de défaillance des digues et des infrastructures considérées [6].

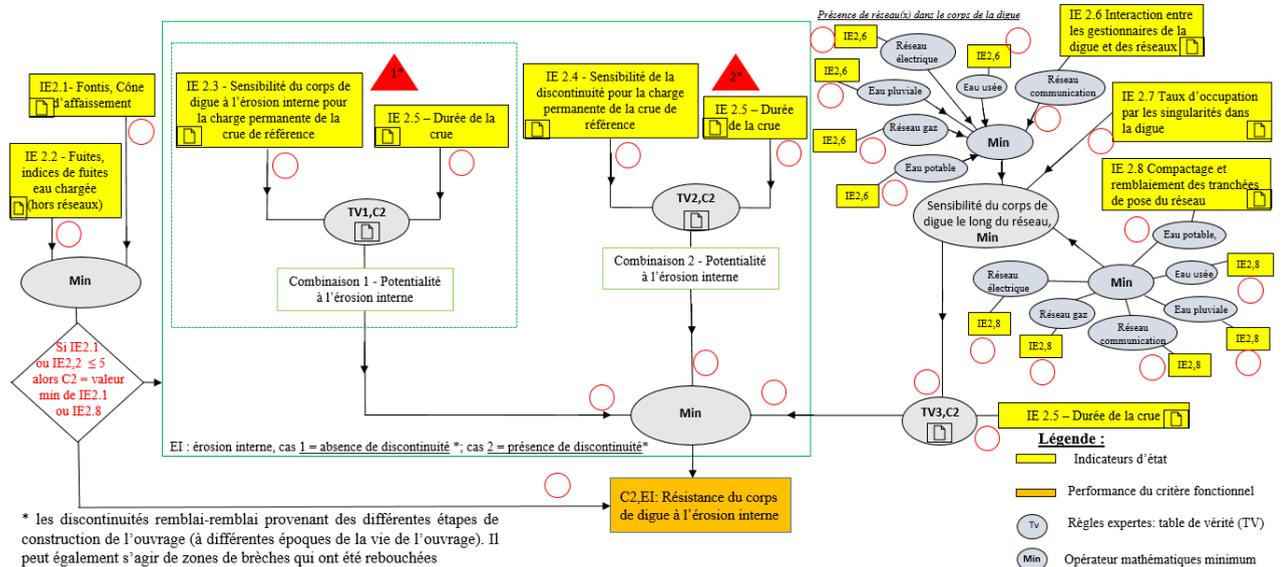
L'étape suivante consiste à l'identification et la formalisation d'indicateurs qui assurent une évaluation robuste (répétable et reproductible). Les indicateurs proviennent des causes de l'analyse 5M. Ils sont décrits selon une grille unique en 5 points [7]: nom de l'indicateur d'état, définition, mode opératoire, échelle de mesure et références associées qui sont les points d'ancrage sur l'échelle et permettent de décrire les différents états possibles de l'indicateur et caractéristiques spatiales spécifiant la partie de l'ouvrage à analyser. Comme nous l'avons illustré sur le tableau 1, nous proposons d'utiliser pour tous les indicateurs une même échelle d'évaluation. La gradation est effectuée en fonction des jalons de couleurs représentés sur une double échelle de notation : échelle de référence discrète de six modalités pour formaliser et modéliser la connaissance experte couplée à une échelle de référence continue entre [0 ; 10]. Cette

dernière permet des analyses quantitatives sur les valeurs des différents critères. Le tableau 1 donne un exemple de grille de formalisation pour l'indicateur « Interaction entre les gestionnaires de la digue et des réseaux ». A ce stade, nous avons identifié 10 indicateurs d'état spécifiques comme par exemple « Règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux » ou « Corrosion des matériaux des réseaux ».

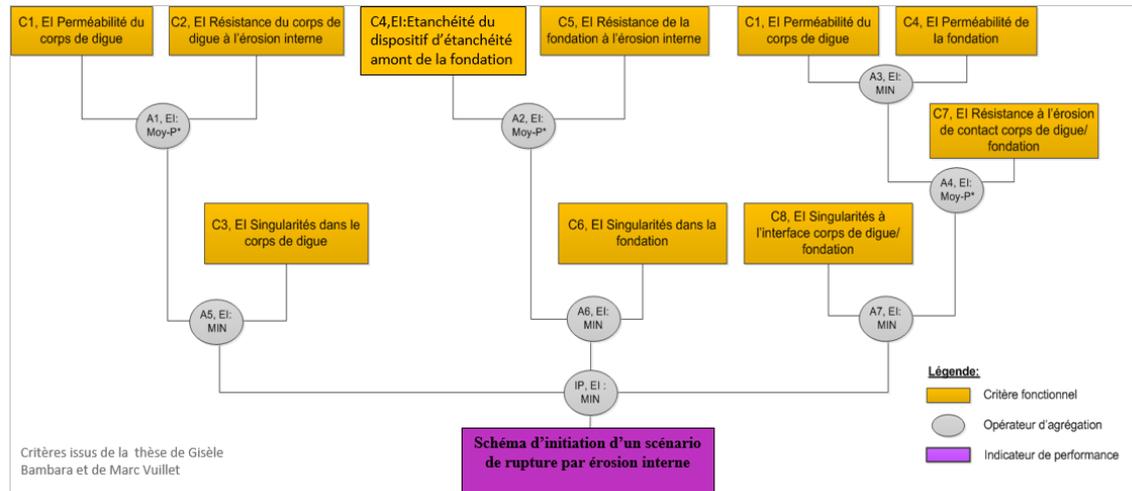
**TABLEAU 1.** Description de l'indicateur « Interaction entre les gestionnaires de la digue et des réseaux »

Nom	Interaction entre les gestionnaires de la digue et du (es) réseau(x)
Définition	Connaitre le positionnement spatial du réseau dans un cadre unique et une situation géographique bien définie dans un système de coordonnées et de références Ainsi que la connaissance de la nature du produit acheminé (eau, gaz, électricité, produit pétrolier...) et du gestionnaire du réseau enterré (coordonnées)
Echelle et références	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">Inacceptable</span> <span style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">Mauvats</span> <span style="background-color: orange; color: white; padding: 2px;">Médiocre</span> <span style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px;">Passable</span> <span style="background-color: lightgreen; color: black; padding: 2px;">Bon</span> <span style="background-color: green; color: white; padding: 2px;">Excellent</span> </div> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p>10 : - Positionnement et recensement des réseaux effectués selon le protocole établi - Connaissance par le gestionnaire de la digue de la nature du produit acheminé et des coordonnées du gestionnaire de réseau (personne contact)</p> <p>6 ou 7 : Existence des réseaux connus mais pas géoréférencés</p> <p>4 ou 5 : - Pas d'interaction entre les gestionnaires de la digue et du (es) réseau(x) - Réseaux abandonnés - Absence de positionnement et de recensements - Absence de connaissance de la nature du produit acheminé et du gestionnaire de réseau</p> <p>La propriété la plus défavorable vis à vis du mécanisme de détérioration est choisie. et la notation s'effectue pour chacun des réseaux</p>
Caractéristiques de lieu	Ensemble du réseau
Caractéristiques de temps	Lors de la conception ou lors d'un besoin pour consultations des éléments du dossier de la digue, lors d'une inspection visuelle normale

Les indicateurs sont ensuite agrégés par des opérateurs mathématiques simples (moyenne pondérée ou minimum) ou par des tables de vérité pour obtenir des critères fonctionnels comme par exemple le critère C2, EI « Résistance du corps de digue à l'érosion interne (Fig. 1). Les modèles pour les huit critères sont décrits dans [2] [3] [4]. Les critères fonctionnels sont ensuite eux-mêmes agrégés pour obtenir la performance vis-à-vis de l'érosion interne (Fig. 2.) selon [2] [3] [4]. Nos travaux ont été seulement développés pour le mécanisme de détérioration par érosion interne.



**FIGURE 1.** Diagramme d'agrégation des indicateurs d'état pour l'évaluation du critère fonctionnel C2, EI « Résistance du corps de digue à l'érosion interne »



**FIGURE 1.** Diagramme de l'indicateur de performance vis-à-vis du mécanisme de rupture par érosion interne

Une validation des indicateurs et des modèles est ensuite menée par confrontation à trois cas réels simplifiés.

## CONCLUSION

Ces travaux complètent les méthodes et outils d'aide à la décision développés antérieurement en répondant à des situations de présence d'infrastructures sur ou dans les ouvrages. L'approche est intéressante dans une optique de formalisation des connaissances et de transmission des connaissances à des ingénieurs récemment impliqués dans des tâches d'expertise concernant des ouvrages. Cette méthode a été testée avec succès sur plusieurs configurations de digues présentant des réseaux traversant, dans une approche de validation par jugement expert.

## RÉFÉRENCES

- [1] CIGB, (1994). Ageing of dams and appurtenant works - Review and recommendations.
- [2] Serre, D. (2005). Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique (PhD Thesis, Université de Marne la Vallée).
- [3] Vuillet, M. (2012). Élaboration d'un modèle d'aide à la décision basé sur une approche probabiliste pour l'évaluation de la performance des digues fluviales, PhD Thesis, Université Paris Est.
- [4] Bambara, G. (2016). Evaluation de la performance des ouvrages hydrauliques en remblai soumis à la présence de végétation arborescente (PhD Thesis, Doctorat en Géosciences de l'Environnement).
- [5] Ishikawa, K. (1982). Guide to quality control (No. TS156. I3713 1994.).
- [6] Di Maiolo, P., Curt, C., & Peyras, L. (2017, May). Dégradation des digues due à la présence d'infrastructures: recensement et classification des causes par la méthode des 5 M. In 35èmes Rencontres de l'AUGC (4-p).
- [7] Curt, C., Peyras L., Boissier, D. (2010). A knowledge formalization and aggregation-based method for the assessment of dam performance. Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering, 25, 171-183.