

Modèle de connaissance orienté Graphe pour représenter, simuler, capitaliser et analyser les défaillances de barrage

Baudrit Cédric¹, Breysse Denys², Taillandier Franck³

¹Univ. Bordeaux, INRAE-I2M, USC 1368, F-33405, Talence, France

²Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33405 Talence, France

³INRAE, Aix Marseille Univ. RECOVER, Aix-en-Provence, France.

RESUME Malgré le développement de nombreux outils et de base de données, les barrages sont encore aujourd'hui confrontés à des défaillances pouvant mener à des situations dramatiques. Il n'existe pas à ce jour de modèle générique et holistique capable de modéliser tout type de barrage et de capitaliser leurs défaillances. Cet article propose les prémices d'un modèle de connaissance, basé sur le formalisme des graphes conceptuels, capable de représenter et de capitaliser les défaillances de tout type de barrage via un vocabulaire commun structuré et (2) de mener des raisonnements automatiques. Le but est de pouvoir émettre des explications de défaillance et des recommandations sur des ouvrages en exploitation ou en projet en s'appuyant sur les défaillances passées.

Mots-clefs Représentation des connaissances, Graphes conceptuels, Barrage, Défaillance

I. INTRODUCTION

Les barrages peuvent être confrontés à des défaillances menant à des situations dramatiques à l'image de la rupture du barrage de Brumadinho au Brésil en 2019 qui ont conduit à des centaines de disparus. Ces défaillances peuvent résulter (1) d'erreurs humaines et/ou (2) d'aléas naturels, et/ou (3) d'un ensemble de processus de dégradation. Afin de mieux comprendre les origines et l'enchaînement des événements et processus qui ont menés à la défaillance, il est capital de proposer un cadre formel et unifié capable de proposer une vision d'ensemble du barrage. Des initiatives ont été menées pour établir des modèles relationnels (Zhang *et al.*, 2009), des modèles prédictifs (Ponnambalam *et al.*, 2019) et des modèles ontologiques (Wang *et al.*, 2008). Mais ces approches sont soit barrage dépendant, soit permettent de mener des raisonnements ou des simulations. Il n'existe pas à ce jour de modèle générique et holistique capable de modéliser et simuler le comportement de tout type de barrage et de capitaliser leurs défaillances. Cet article s'attachera à proposer les prémices d'un tel modèle basé sur le formalisme des graphes conceptuels (GC) permettant (1) de représenter et de capitaliser les défaillances de tout type de barrage dans un vocabulaire commun structuré et (2) de mener des raisonnements automatiques. Le but est de pouvoir émettre des explications de défaillance ou des recommandations sur des ouvrages en exploitation ou en projets en s'appuyant sur les défaillances passées. Les graphes conceptuels ont déjà été initiés pour l'ingénierie forensique en génie civil par Breysse *et al.*, 2018.

II. DE LA CONNAISSANCE A LA REPRESENTATION FORMELLE DES DEFAILLANCES DE BARRAGES ORIENTEES GRAPHES

Un formalisme de représentation des connaissances doit permettre (1) de représenter la connaissance d'un domaine d'application de manière déclarative; (2) de structurer la connaissance sans ambiguïté et (3) de faire des inférences pour mener des raisonnements.

A. Les graphes conceptuels

Le cadre des graphes conceptuels (Chein *et al.*, 2009) fournit un formalisme de représentation de la connaissance et du raisonnement à base de graphes. Dans sa forme la plus simple, le modèle de connaissance à base de graphes conceptuels est composé (1) d'un support qui encode la connaissance terminologique structurant le vocabulaire, les relations du domaine et (2) un ensemble de graphes de faits construits à partir du support terminologique qui expriment une connaissance factuelle. Le modèle de connaissance peut être enrichi à l'aide de règles exprimant des raisonnements et/ou des mécanismes de défaillance. Le support fournit un vocabulaire hiérarchisé composé d'un ensemble partiellement ordonné de concepts (voir Fig. 1.a) et de relations (voir Fig. 1.b). Un concept représente un ensemble de termes qui ont une signification commune pour le domaine.

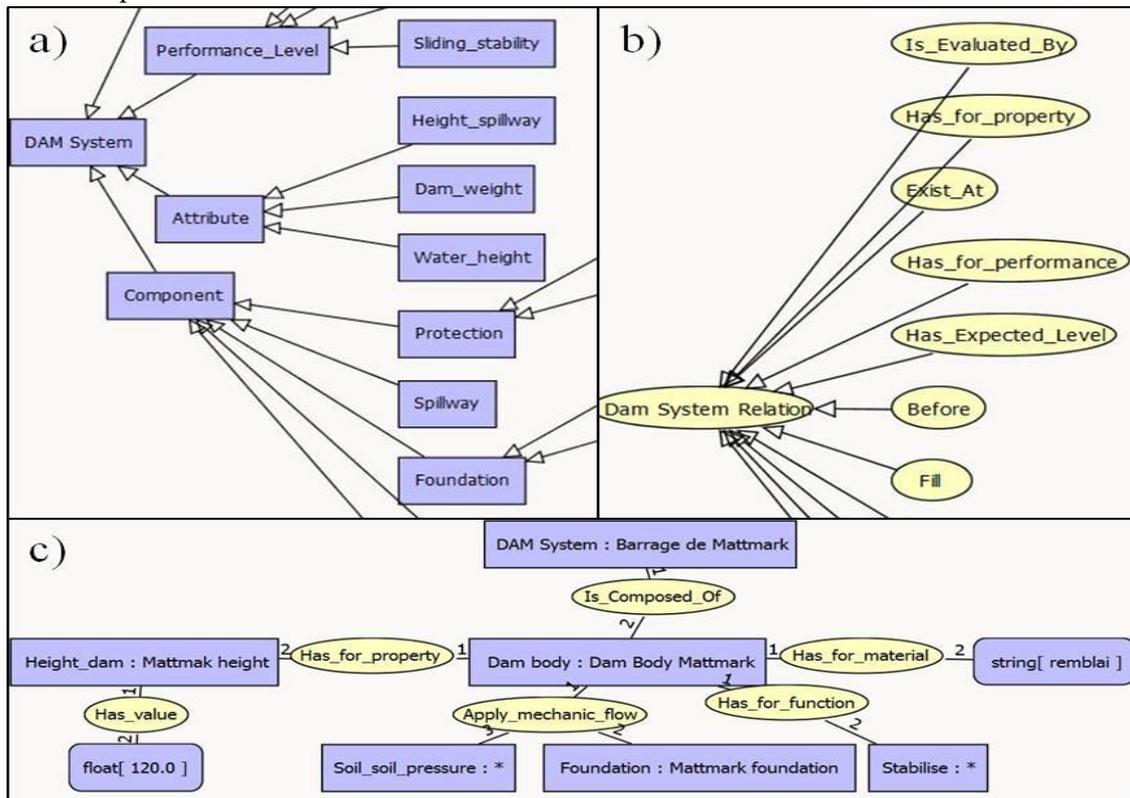


Figure 1 : hiérarchie de concepts (a) et de relations (b), description partielle du barrage Mattmark (c)

La base de faits est constituée d'individus qui sont des instances des concepts du support, et de relations entre eux. La Figure 1.c exprime par exemple que le barrage Mattmark en Suisse est composé d'un corps de barrage en remblai d'une hauteur de 120 mètres. Les règles logiques de la forme «si hypothèse alors conclusion» sont traduites à l'aide de deux graphes (un graphe hypothèse et un graphe conclusion) reliés par une relation dite de coréférence (voir arc en pointillé Fig. 2). A titre d'exemple, la figure 2 exprime que s'il pleut la quantité «*Ht_prec*» mm au temps *t* alors la hauteur d'eau «*Ht_Res_dt*» dans le réservoir au temps *t'* sera modifiée en fonction de sa hauteur initiale «*Ht_Res*» au temps *t*.

B. Implémentation du modèle de connaissance

Le modèle a été développé à l'aide de la plateforme CoGui (<https://www.lirmm.fr/cogui>) qui fournit une interface graphique pour éditer des graphes conceptuels ; elle est dotée d'un moteur de

raisonnement et d'un système d'interrogation.

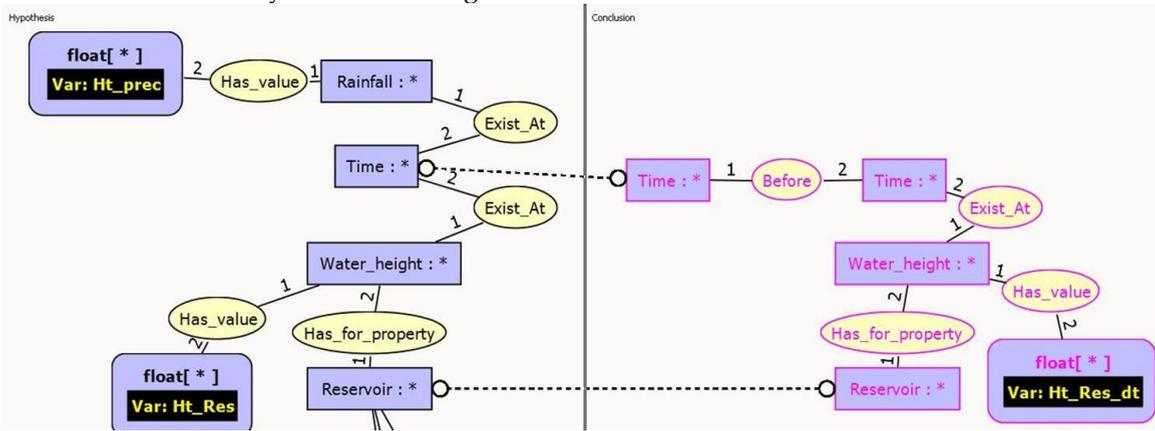


Figure 2: Représentation partielle d'une règle à l'aide d'un graphe

Le modèle est actuellement composé d'un ensemble de composants qui remplissent des fonctions, des propriétés évoluant dans un environnement et qui interagissent entre eux selon des transferts de flux (voir Fig. 3). Le niveau de performance de chaque fonction de chaque composant est évalué à l'aide de modèles représentant la physique des phénomènes. Le temps est pris en compte à l'aide du concept temps permettant de suivre les états des concepts au cours du temps (par exemple l'état des propriétés des composants dans la figure 3).

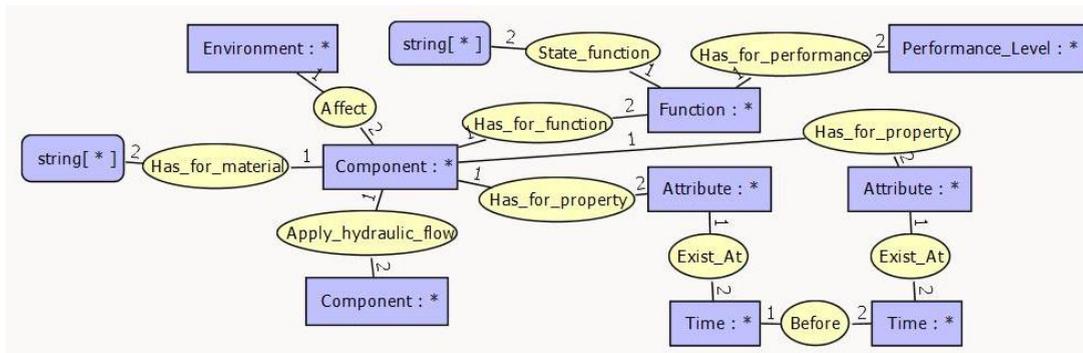


Figure 3: Représentation partielle du graphe de base composant le modèle générique

III. SCENARIOS D'UTILISATION : RAISONNEMENTS ET SIMULATIONS

Les requêtes (*i.e.* questions posées au modèle) sont représentées par des structures de graphes conceptuels, que nous comparons à d'autres graphes (faits et règles), enregistrés dans le logiciel CoGui. Les réponses sont fournies à l'aide de l'opération de projection dans la base de faits. En saisissant des données telles que les caractéristiques du barrage, l'environnement, le logiciel CoGui génère automatiquement les réponses correspondantes possibles pour les exigences spécifiées. Le raisonnement est dynamique avec des séquences visuelles qui permettent une compréhension aisée des différentes étapes de traitement. Avec ce raisonnement visuel, on peut savoir s'il y a des similitudes entre les faits et les requêtes spécifiées. Dans le cadre de la **prédiction** (*resp.* le **diagnostic**), Il s'agira d'évaluer, en utilisant le modèle au travers de ses règles, l'état des concepts C au temps $t+dt$ (*resp.* au temps t) sachant ce qui a été observé au temps t . A titre d'exemple, la règle activée dans la figure 2 pourra (1) prédire la hauteur d'eau « Ht_Res_dt » dans le réservoir après une période de pluie « Ht_prec » faisant intervenir des variables comme la

surface du bassin versant et celle du réservoir et (2) diagnostiquer si le réservoir rempli sa fonction après la période de pluie en comparant « Ht_{Res_dt} » avec la hauteur seuil. Dans le cadre de l'**ingénierie forensique** comparable à l'analyse médico-légale consistant à identifier les causes d'une défaillance, il s'agira ainsi de chercher dans la base de faits à l'aide d'une requête les scénarios possibles menant à la défaillance. La figure 4 (graphe gauche) formalise une requête sous forme de graphe demandant au modèle de trouver dans les faits des barrages dont la fonction d'évacuation est passé de *plus assurée* à *assurée*. Un des résultats de la requête montre (voir figure 4 droite) par exemple qu'il existe un barrage dans cette configuration dont l'explication réside dans le fait que l'évacuateur (spillway) a subi un nettoyage et qu'il s'est arrêté de pleuvoir (l'obstruction (resp. la pluie) est passée de 1 à 0 (resp. 0.05mm à 0)).

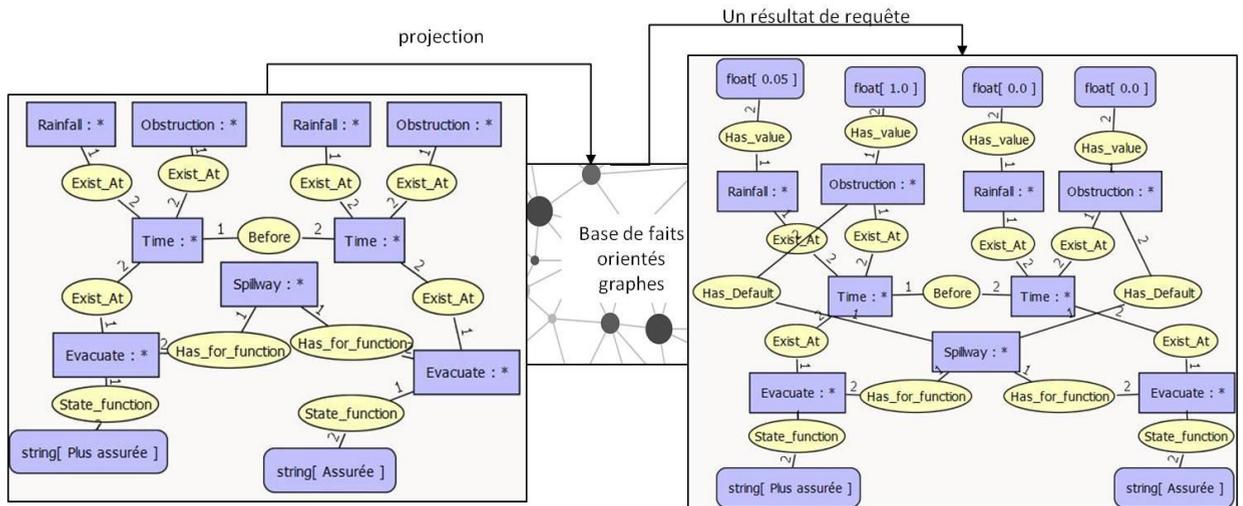


Figure 4: Exemple de résultat de la projection d'une requête graphe dans la base de faits orienté graphe

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce papier présente les fondements d'un premier modèle de connaissance factuelle générique sur le domaine des défaillances de barrage. Basé sur le formalisme des graphes conceptuels, il est capable (1) de prédire, de diagnostiquer l'état des composants du système de tout type de barrages et (2) fournir un ensemble d'explications ayant mené à la défaillance à l'aide de requête dans une base de faits. La prochaine étape sera de consolider les règles dans le modèle, d'enrichir la base de faits, d'introduire la prise en compte des incertitudes et de proposer des requêtes capables d'évaluer dans quelle mesure certains barrages pourraient être nouvellement impactés par un nouvel environnement dus aux changements climatiques.

REFERENCES

- Breyse D., Taillandier F., and Baudrit C. (2018). Knowledge model for forensics in civil engineering, *LABSE 40th symposium*.
- Chein M., Mugnier M.-L. (2009). *Graph-based Knowledge Representation: Computational Foundations of Conceptual Graphs*, Springer.
- Ponnambalam, K., El-Awady A., Mousavi SJ., Seifi A. (2019). Simulation Supported Bayesian Network for Estimating Failure Probabilities of Dams, *ICOLD 87th annual meeting and symposium*.
- Wang, H.H., and Boukamp F. (2008). A context ontology development process for construction safety. In : *Joint CIB Conference: W102 Information and Knowledge Management in Building and W096 Architectural Management*. 297-308.
- Zhang, L. M., Xu, Y., and Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A database approach. *Georisk*, vol. 3, no 3, p. 184-189.