



HAL
open science

Développement d'une approche BIM (Building Information Modeling) pour l'amélioration de la sécurité des digues de protection contre les inondations et couplage avec le SIRS Digues

C. Curt, A. Talon, L. Journée, P. Di Maiolo, Bruno Beullac

► To cite this version:

C. Curt, A. Talon, L. Journée, P. Di Maiolo, Bruno Beullac. Développement d'une approche BIM (Building Information Modeling) pour l'amélioration de la sécurité des digues de protection contre les inondations et couplage avec le SIRS Digues. Dignes 2024 -Systèmes et ouvrages de protection contre les inondations d'origines maritimes et fluviales. État des lieux, avancées, innovations et perspectives, INRAE, MTECT; Cerema; CFBR; France Dignes,, Mar 2024, Aix-en-Provence, France. 10.5281/zenodo.10592157 . hal-04909686

HAL Id: hal-04909686

<https://hal.inrae.fr/hal-04909686v1>

Submitted on 5 Feb 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Développement d'une approche BIM (Building Information Modeling) pour l'amélioration de la sécurité des digues de protection contre les inondations et couplage avec le SIRS Dignes

Development of a BIM (Building Information Modeling) approach to improving the safety of flood protection levees and coupling with SIRS Dignes

C. Curt¹, A. Talon², L. Journé^{1,2}, P. Di Maiolo¹, B. Beullac¹

¹ INRAE, Aix Marseille Univ., RECOVER – 3275 Route Cézanne – 13182 Aix en Provence Cedex 5, France, corinne.curt@inrae.fr

² Université Clermont Auvergne - Polytech Clermont-Ferrand, Campus Universitaire des Cézeaux – 2, avenue Blaise-Pascal – TSA 60206 – CS 60026 – 63178 Aubière Cedex, France, aurelie.talon@uca.fr

Résumé

Le BIM (Building Information Modeling) est un processus efficace pour stocker, gérer des données, offrir des représentations multidimensionnelles et exploiter ces données pour gérer la maintenance des ouvrages hydrauliques. L'objectif est de proposer un usage du BIM pour les digues de protection contre les inondations en tant qu'ouvrages pouvant supporter/intégrer d'autres infrastructures (canalisations, routes, bâtiments etc.). Ces dernières peuvent être à l'origine de désordres au sein de la digue comme l'érosion interne ou un glissement. Une méthode a été développée et des applications réalisées sur des digues réelles comportant plusieurs infrastructures. Premièrement, une matrice rassemblant les caractéristiques d'intérêt des infrastructures a été proposée pour les 56 types d'infrastructures identifiés dans le SIRS Dignes qui est un logiciel métier d'une partie des gestionnaires de digues en France : des caractéristiques génériques non modifiables (par exemple l'impact qu'ont les bâtiments sur la digue), des variables descriptives qui n'ont pas d'impact sur la modélisation (par exemple, le nom du propriétaire du bâtiment) et des variables de modélisation, propres à chaque famille d'infrastructure, qui sont les variables géométriques utiles à la représentation 3D des familles (par exemple, la famille bâtiment possède des variables comme hauteur et largeur). Ces variables sont ensuite instanciées pour chaque cas considéré (par exemple, le bâtiment a une hauteur de 3 m). Ces caractéristiques ont été établies à partir des connaissances d'experts des ouvrages hydrauliques. Deuxièmement, des données sont collectées afin de renseigner les variables descriptives et de modélisation. Plusieurs sources sont disponibles : les gestionnaires ; les documents sur l'ouvrage comme les Etudes De Dangers ou les Visites Techniques Approfondies et le SIRS Dignes. Troisièmement, la maquette 3D de la digue est réalisée et les différentes infrastructures créées dans l'outil, en tant qu'objets caractérisés par les propriétés recensées dans la matrice de données. Trois méthodes de modélisation ont été proposées en fonction des données disponibles et de leur format. Une de ces méthodes a été automatisée. Quatrièmement, une validation est réalisée pour vérifier que le système modélisé correspond bien

au système réel. Une représentation du système dont la précision dépend de la qualité initiale des données {Digue + Infrastructures} est obtenue, avec une centralisation des données. Un cas d'études sera présenté dans l'article. La démarche participe à une amélioration de la gestion patrimoniale et se veut collaborative entre les gestionnaires de digues et d'infrastructures.

Mots-clés

Sécurité des digues – Infrastructures – Building Information Modeling – Gestion patrimoniale – SIRS Digues.

Abstract

BIM (Building Information Modeling) is an effective process for storing and managing data, providing multi-dimensional representations and exploiting this data to manage the maintenance of hydraulic structures. The aim is to propose the use of BIM for flood protection levees as structures that can support/integrate other infrastructures (pipes, roads, buildings, etc.). The latter can be the cause of disorders within the levee, such as internal erosion or landslides. A method has been developed and applications carried out on real levees containing several infrastructures. Firstly, a matrix bringing together the infrastructure characteristics of interest was proposed for the 56 types of infrastructure identified in the SIRS Digues, a software package used by some of France's levee managers: non-modifiable generic characteristics (e.g. the impact that buildings have on the levee), descriptive variables that have no impact on modelling (e.g. the name of the building owner) and modelling variables, specific to each family of infrastructure, which are the geometric variables useful for the 3D representation of the families (e.g. the building family has variables such as height and width). These variables are then instantiated for each case considered (for example, the building has a height of 3 m). These variables are then instantiated for each case considered (for example, the building is 3 m high). These characteristics were established on the basis of expert knowledge of hydraulic structures. Secondly, data is collected to inform the descriptive and modelling variables. Several sources are available: the managers; documents on the structure, such as hazard studies or in-depth technical visits; and the SIRS Digues. Thirdly, the 3D model of the levee is produced and the various infrastructures created in the tool, as objects characterised by the properties listed in the data matrix. Three modelling methods were proposed, depending on the data available and its format. One of these methods was automated. Fourthly, a validation is carried out to check that the modelled system corresponds to the real system. A representation of the system {Levee + Infrastructures} is obtained, with centralised data; the precision depends on the initial quality of the data. One case study will be presented in the article. The approach helps to improve asset management and is intended to be a collaborative effort between levee and infrastructure managers.

Key Words

Levee safety – Infrastructure – Building Information Modeling – Asset Management – SIRS Digues.

Objectif et contexte

La défaillance des digues peut avoir des conséquences lourdes sur les personnes, les biens et l'environnement. Les incidents se produisant sur ces ouvrages peuvent provenir soit de défaillances de la digue elle-même (vieillesse naturelle, mauvaise conception-réalisation, entretien défectueux, aléas naturels), soit de désordres initiés par des éléments présents au sein ou à proximité de la digue (terriers d'animaux fouisseurs, végétation arborée, infrastructures). Les infrastructures sont de nature très variées : réseaux d'eau, d'électricité, de gaz, stations de pompage, poteaux, etc. Elles sont insérées de manière transversale ou longitudinale à la digue ou sont localisées dans un proche environnement. Leur présence entraîne une vulnérabilité pour les ouvrages hydrauliques. Les mécanismes concernés sont multiples : érosion interne, érosion côté zone protégée, glissement, surverse, tassement [10] et [7].

La gestion patrimoniale est essentielle pour maintenir, exploiter et renouveler efficacement les infrastructures et, par conséquent, réduire les risques et les impacts [6] et [12]. La prise de décision et la mise en place de stratégies efficaces dépendent fortement d'informations concernant les infrastructures et leur gestion. Les informations doivent être collectées puis organisées, traitées, stockées, partagées et échangées entre parties prenantes. Au niveau spatial, les données peuvent correspondre à des échelles très diverses, du matériau au patrimoine, en passant par l'ouvrage et le tronçon. Le processus de la collecte au partage des données s'opère au cours du temps et concerne tout le cycle de vie de l'infrastructure. La réglementation impose par ailleurs un certain nombre d'obligations à des fréquences données [5]. Les données doivent être accessibles rapidement afin de procéder à des diagnostics efficaces et pertinents, dans le but de permettre une gestion adaptée.

Des systèmes d'information sont mis en œuvre pour gérer et fournir une vue intégrée des informations sur le cycle de vie de manière à garantir le bon fonctionnement des infrastructures. Le BIM (Building Information Modeling) en est un exemple ; il s'agit d'un processus de travail collaboratif efficace pour stocker, gérer des données, offrir des représentations multidimensionnelles et exploiter ces données pour gérer la maintenance des constructions (géométrie 3D, temporalité, coûts, soutenabilité, cycle de vie et maintenance) [2, 3, 9, 16]. Sept dimensions sont actuellement considérées : géométrie 3D, temporalité (4D), coûts (5D), soutenabilité (6D), cycle de vie et maintenance (7D) [4]. Il offre également un cadre de travail collaboratif entre différents gestionnaires par exemple. Il peut être mis en œuvre de la programmation à la rénovation en passant par toutes les phases d'une construction, dont l'utilisation et la maintenance de celle-ci, jusqu'à sa déconstruction/démolition.

Si de nombreux travaux ont été publiés sur le BIM (près de 8 800 articles depuis 2010 – recherche sur Web of Science avec la requête « BIM and Building » dans le champ Topic), peu se concentrent sur la phase de vie en service de l'ouvrage [4] et aucun d'eux ne traite de l'utilisation de cette approche pour les digues. Certains gestionnaires de digues utilisent le SIRS Digues (Système d'Information à Références Spatiales) (<https://www.france-digues.fr/sirs-digues/>) : cet outil permet une représentation cartographique 2D des données, leur localisation par rapport à un système de référence défini, et en déterminant les distances des objets par rapport à des points de repère (bornes par exemple), pour de très grands linéaires. L'outil BIM est donc complémentaire au SIRS Digues. En effet, il aura plutôt vocation à être utilisé plus ponctuellement pour représenter de manière très précise, et en 3D, certaines zones de la digue comportant des infrastructures.

L'objectif de l'article est ainsi de proposer une analyse de l'extension de l'usage du BIM vers les digues de protection contre les inondations en tant qu'ouvrages pouvant supporter/intégrer d'autres infrastructures. Nous considérons donc le système {Digue + Infrastructures}, en ayant toutefois une entrée privilégiée par la composante Digue. Nous visons d'une part, à caractériser les infrastructures par des données qui soient pertinentes pour les différents gestionnaires et d'autre part à réaliser une représentation 3D du système étudié. L'objectif final est d'exploiter ces données pour la gestion de la maintenance de ces systèmes (non présenté dans cet article – en cours de développement).

Méthodologie

La méthode comporte quatre étapes principales (Figure 1).

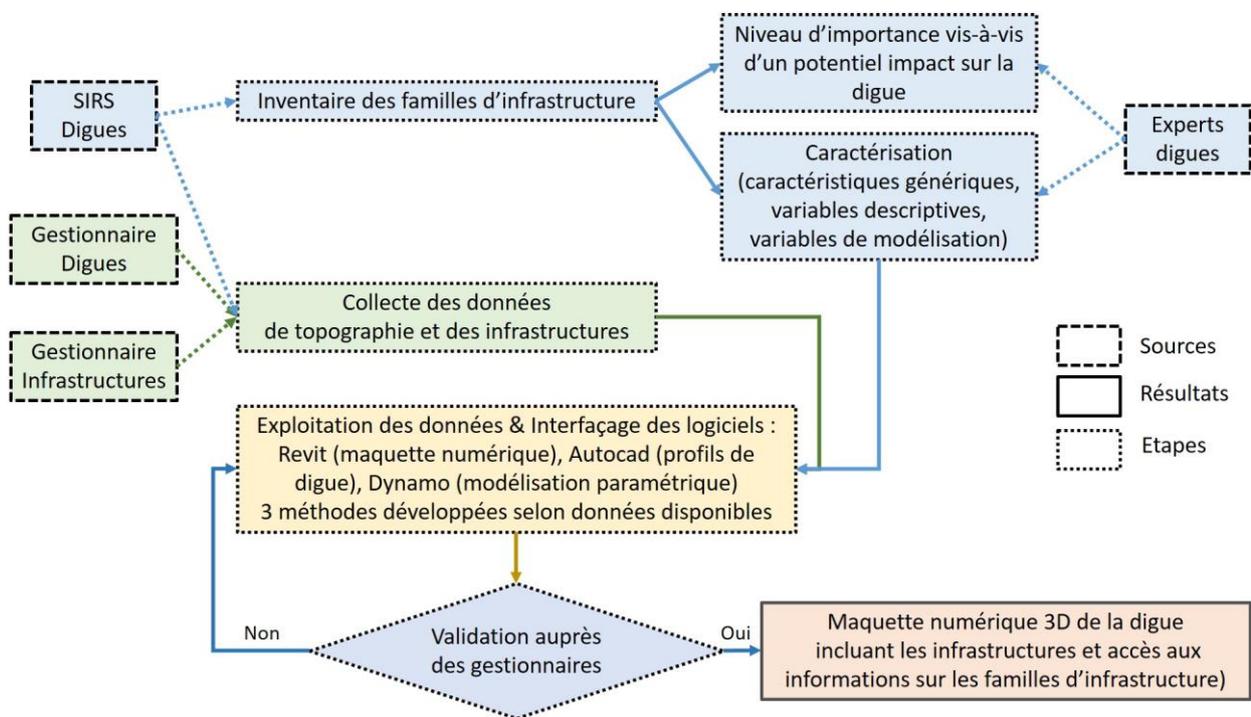


FIGURE 1. Démarche développée.

La première étape consiste en la réalisation d'un inventaire des infrastructures pouvant être présentes dans ou à proximité d'une digue, comme par exemple les bâtiments, les routes, les canalisations. Chacune de ces familles est caractérisée par 3 catégories de variables :

- Les caractéristiques génériques sont des variables identiques pour toutes les familles et qui ne prennent qu'une valeur (par exemple, l'impact des bâtiments sur la digue). Ces caractéristiques ne sont pas modifiables ;
- Les variables descriptives sont instanciées mais n'ont pas d'impact sur la modélisation. Par exemple, le nom du propriétaire peut changer en fonction des bâtiments, mais n'a pas d'influence sur la modélisation ;
- Les variables de modélisation sont les variables géométriques utiles à la représentation 3D des familles. Elles sont propres à chaque famille. Par exemple, la famille bâtiment

possède des variables comme hauteur et largeur, tandis que pour la famille canalisation, il s'agit de diamètre et épaisseur. Ces variables sont ensuite instanciées pour chaque cas considéré : par exemple, la canalisation du tronçon T1 a un diamètre de 18 cm.

Les deux premiers types de variables permettent la création d'une fiche recensant les informations utiles à leur suivi, le troisième sert à la modélisation du système pour obtenir la maquette 3D.

Une hiérarchisation de l'impact de ces infrastructures sur la sécurité de la digue a été réalisée. Un niveau d'importance (de 1 le moins important à 5 le plus important) a été attribué à chaque famille. Il permet de les classer selon les dégâts potentiels qu'elles peuvent créer et/ou accélérer sur la digue. Ce classement permet de prioriser le travail sur les familles qui sont les plus pertinentes à modéliser.

Cette première étape a mobilisé des experts des ouvrages hydrauliques : validation des variables et proposition de hiérarchie des infrastructures en fonction de leur impact sur la sécurité de la digue.

La deuxième étape concerne la collecte des données de topographie (profils en long et en travers des digues fournis généralement sous format Autocad) et relatives aux infrastructures. Elles sont fournies par les gestionnaires de digues et d'infrastructures et peuvent être également obtenues depuis le SIRS Digues à partir de requêtes SQL préenregistrées dans cet outil et qui ont été modifiées pour récupérer uniquement les informations nécessaires à notre problématique. Ces données sont assemblées dans un tableau Excel (TM « tableau de modélisation »). Cette étape n'induit pas de dégradation de la qualité des données extraites ; la précision des données est donc identique à celle des données fournies par les gestionnaires ou extraites du SIRS Digues. Un des deux cas d'études traités est présenté plus bas dans le texte.

La troisième étape vise à exploiter les données de topographie (dimensions et positionnement extraits de SIRS Digues au format .csv) et de caractérisation des infrastructures présentes dans le TM pour :

- implémenter chaque famille (définition de l'élément géométrique et ses paramètres) grâce au logiciel Revit ;
- construire la maquette 3D de la digue et des infrastructures présentes. Dynamo est utilisé pour automatiser la modélisation de la digue à partir d'informations ici d'Excel ou d'AutoCAD et Revit. L'utilisation d'AutoCAD ou Excel provient du type de données sources (relevé topographique ou profils en travers) et nous a conduit à développer 3 méthodes de modélisation [14] et [11] (Figure 2). Seule la Méthode 1 a été automatisée dans le logiciel Dynamo.

La Méthode 1 permet d'obtenir la forme générale de la digue sans pouvoir distinguer ses couches constitutives, ni la distinction avec le terrain environnant et sans pouvoir la découper en tronçons. La surface de la digue sur Revit est modélisée comme une surface topographique. Cette modélisation est réalisée à partir de coordonnées topographiques en utilisant l'outil Dynamo. Cette méthode de modélisation surfacique n'apportant que peu d'information par rapport à une représentation volumique et paramétrique de la digue, les méthodes 2 et 3 sont privilégiées.

La Méthode 2 représente la digue à partir d'un ensemble de tronçons volumiques basés sur les profils transversaux disponibles ; il est alors possible de distinguer la topographie du terrain environnant et la digue. Les profils de la digue, disponibles au format Autocad sont représentés sur des plans de construction orientés sur REVIT. Les tronçons sont construits par raccordement successifs de deux profils.

La Méthode 3 a été développée pour automatiser l'intégration des infrastructures sur une digue. Cette méthode démarre par l'utilisation de la Méthode 2 pour la modélisation de la digue sous la forme de tronçons volumiques. Ensuite, des requêtes SQL dans SIRS Digues permettent de collecter les dimensions et les coordonnées d'implantation des infrastructures sous le format .csv. Un développement sous DYNAMO et la création de familles paramétriques d'infrastructures permettent de modéliser et implanter les infrastructures sur la digue précédemment créée via le fichier .csv extrait de SIRS Digues.

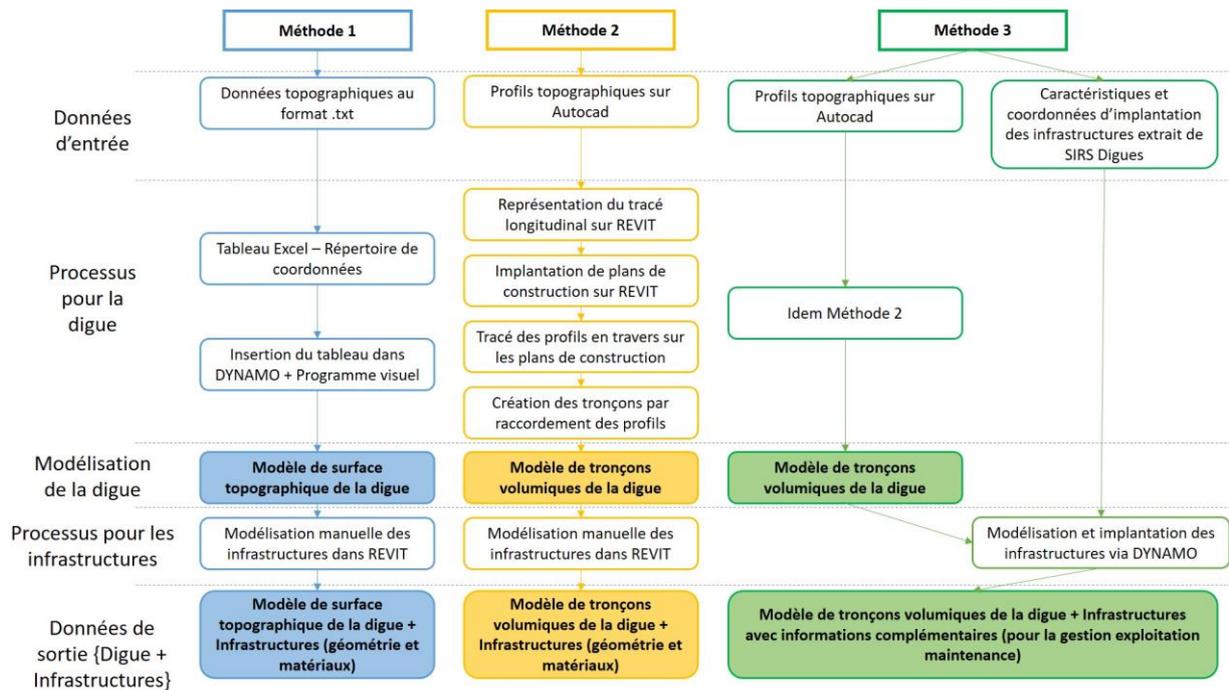


FIGURE 2. Méthodes de modélisation développées

La dernière étape consiste à valider la maquette 3D du système {Digue + Infrastructures}, à l'aide des données disponibles d'une part, et auprès du gestionnaire d'autre part.

Cas d'étude : la Levée de Nantilly

La Levée de Nantilly – mesurant 775 m et majoritairement en terre – fait partie de la Digue de Saumur qui protège le centre-ville (Figure 3).

L'établissement Public Loire (EP Loire) a fourni l'Etude De Dangers ainsi que la Visite Technique Approfondie desquelles, ont été extraits les profils en long et en travers de la Levée Nantilly qui a été découpée en 3 sous-tronçons :

- Sous-tronçon 1 : section de levée se raccordant avec le Pont Fouchard ;
- Sous-tronçon 2 : section de levée avec talus enherbé et crête large ;
- Sous-tronçon 3 : section de levée ancienne ;

Les sous-tronçons 1 et 2 comportent des canalisations traversantes, une station de pompage et soutiennent une route goudronnée. Le sous-tronçon 3 soutient la route.

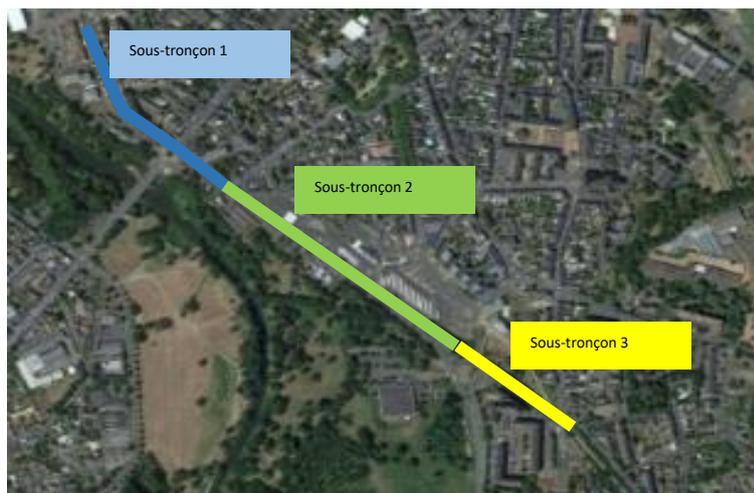


FIGURE 3. Découpage de la levée de Nantilly (d'après [15])

Principaux résultats

Inventaire

Cinquante-six familles ont été recensées sur le SIRS Dignes et classées selon leur importance vis-à-vis de la sécurité de la digue (Tableau 1). Elles ont été décrites selon les 3 variables (caractéristiques générales, variables descriptives, variables de modélisation) (Tableau 2). Par exemple, les variables de modélisation sont : pour un coffret télécom, hauteur, hauteur intérieure, largeur, largeur intérieure ; pour une canalisation, diamètre, diamètre intérieur et longueur. Ils auront tous les deux la caractéristique générique « impact sur la digue » (qu'il soit fort ou non), ainsi que la variable descriptive « entretien » (que ce soit oui ou non), etc. Actuellement seules des infrastructures de niveau 4 et 5 ont été considérées (Tableau 1).

TABLEAU 1. Familles triées selon leur importance vis-à-vis de la sécurité de la digue [11]

Importance	Libellé des familles
5	Canalisation de pompage, prise d'eau, Conduite d'eau (EP, EU, Assainissement), Conduite de gaz, Réseaux fibres optiques, Pont, Clapet, Vanne hydraulique, Bâtiment encastré ou très proche digue, Conduite d'eau sous pression, Bajoyer, Pertuis, Tranchée remblayée (pour pose des réseaux), Réseaux d'assainissement, Réseaux électrique (BT HT), Réseaux produits chimiques
4	Escalier, Chambre Télécom, Coffret de branchement, Transformateur
3	Voie ferrée, Chemin/piste, Piste cyclable, Route, Sentier pédestre, Poteau EDF, PTT et/ou Lampadaire, Portail privé, Borne de voirie, Panneau de voirie, Parking, Borne incendie, Borne PK (Point Kilométrique), Borne réseau d'eau, Clôture privée encastrée dans digue, Echelle limnimétrique, Mobilier à usage récréatif, Panneau d'alerte, Panneau d'information divers (EDF,...), Repère de nivellement IGN, Station de mesure, Socle de béton, Affluent canalisé, Station de pompage
2	Cale (simple ou à tablier), Barrière, Glissière, Grillage, Exutoire, Fosse de décantation, Station d'épuration, Passe à poisson, Ponton pour embarcation
1	Accès parcelle, Passage à gué, Rampe, Grille

TABLEAU 2. Ensemble des variables utilisées

Caractéristiques génériques	Rôle de Protection de la Digue (Oui/Non), Impact sur la digue (Fort/Faible), Mécanisme provoqué sur la digue en cas de défaillance, Point de référence
Variables descriptives	Localisation, Voisinage avec végétaux (Oui/Non), Etat (Dégradation, vieillissement, etc), Entretien (Oui/Non), Fréquence, Date de construction/pose, Propriétaire/Gestionnaire/Exploitant, Contact
Variables de modélisation	Matériaux, Ensemble de coordonnées (X, Y, Z) (caractérisant profils en long), Longueur, Largeur, Profondeur fondation, Epaisseur fondation, Longueur fondation, Largeur fondation, Diamètre intérieur, Epaisseur conduit, Longueur culée, Largeur culée, Profondeur culée, Epaisseur couche de roulement, Epaisseur couche de liaison, Epaisseur couche de base, Epaisseur couche de fondation, Epaisseur couche de forme, Matériau couche de roulement, Matériau couche de liaison, Matériau couche de base, Matériau couche de fondation, Matériau couche de forme, Pente, Largeur intérieure, Longueur intérieure, Hauteur intérieure, Distance entre 2 poteaux, Matériaux fondation

Collecte des données

Les données permettant de renseigner le TM sont issues de documents tels que EDD ou VTA, du SIRS Digues ou sont directement fournies par les gestionnaires (e.g. profils topographiques).

Modélisation

La méthode 3 a été utilisée pour le traitement de ce cas d'étude. Le TM croisant en ligne les infrastructures (Tableau 1) et en colonne, les variables (Tableau 2) constitue la base pour créer des « familles », qui sont des modèles d'infrastructures « pré-modélisés » avec des paramètres permettant de faciliter les modélisations futures (caractéristiques génériques, variables de modélisation, variables descriptives). Une famille est un groupe d'éléments qui partagent des propriétés communes. Actuellement une dizaine d'infrastructure sont modélisées, chacune en tant qu'objet caractérisé par ses propriétés recensées dans la matrice de données. Les infrastructures sont modélisées comme des objets paramétriques (Figure 4). Certaines infrastructures peuvent nécessiter plusieurs points pour leur modélisation. Il s'agit par exemple d'un réseau formant un angle par rapport à l'axe de la digue : sa représentation sera effectuée à l'aide de 3 points.

Elles sont ensuite insérées dans la maquette construite selon l'une des 3 méthodes (Figure 2). La Figure 5 présente la Levée de Nantilly constituée de tronçons de digue volumiques traversée par des infrastructures de type « canalisation ».

Validation

La matrice rassemblant les données sur les infrastructures a été jugée pertinente par le gestionnaire de digue. Les représentations de la digue et des infrastructures sont conformes aux données utilisées.

Interopérabilité

Le SIRS Digues et Revit ont été montrés comme interopérables : il est possible de récupérer des données depuis le SIRS Digues, via des requêtes SQL, pour les utiliser dans la maquette BIM en passant par le logiciel de programmation paramétrique DYNAMO. Ces données alimentent la maquette numérique et on obtient au final une représentation du système {Digue +

Infrastructures}], avec une centralisation des données pertinentes. Il est ensuite possible de réaliser des coupes longitudinales ou transversales du système, d'avoir à disposition des informations sur les infrastructures (longueur, diamètre, matériau...). La précision de représentation est bien entendu liée à la qualité des données d'entrée ; celle-ci pouvant être améliorée par des relevés de terrain, ou qualifiée par l'affectation d'une incertitude par exemple.

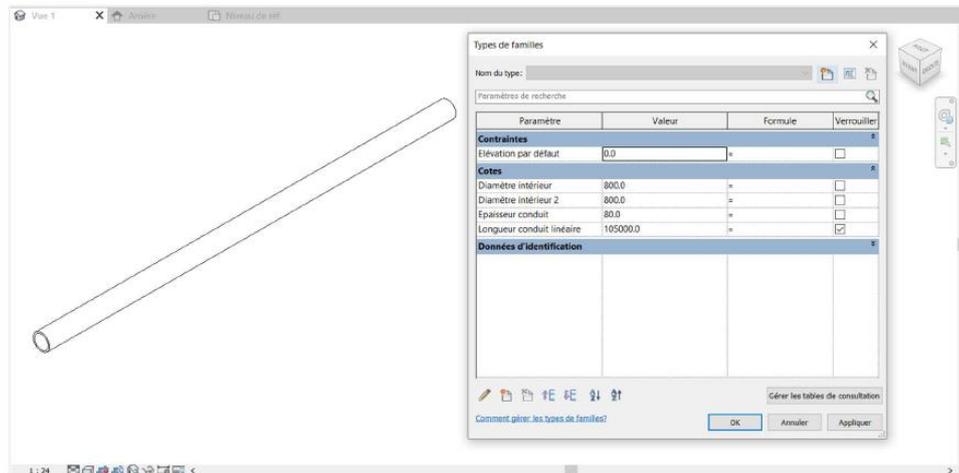


FIGURE 4. Modélisation d'une famille paramétrique de type réseau [14]

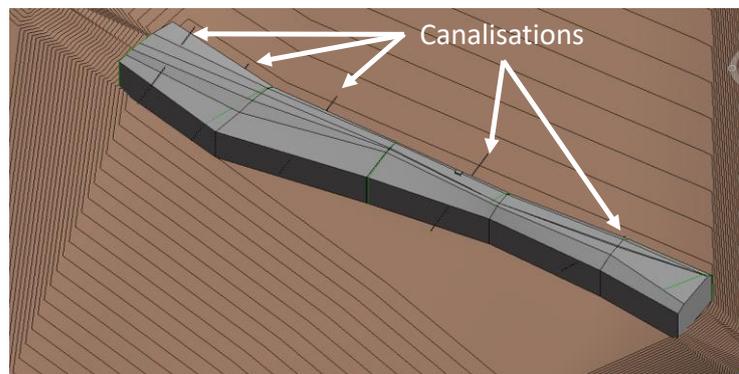


FIGURE 5. Modélisation de la Levée de Nantilly avec infrastructures [11]

Conclusion

La faisabilité de l'approche et son intérêt notamment pour les gestionnaires de digues ont été montrés sur des exemples réels : obtenir une représentation en 3 D des infrastructures présentes dans/sur/à proximité de la digue, pouvoir accéder à des informations sur celles-ci, permettre un échange de données entre gestionnaires. L'approche est générique donc applicable à d'autres cas. La démarche présentée participe à une amélioration de la gestion patrimoniale de systèmes multi-infrastructures. Cet outil peut faciliter les échanges entre différents gestionnaires (digue et infrastructures). Il constitue une base de données couplées à une représentation 3D des différents ouvrages. Le processus BIM présenté dans cette communication est complémentaire au SIRS Dignes. L'objectif final est de mettre à disposition une maquette numérique collaborative pour la gestion patrimoniale, et constituant un support des divers récolements.

Deux perspectives sont envisagées. Il s'agit tout d'abord du couplage du processus BIM à un modèle de diagnostic [1], qui permettra de détecter des désordres ou des points de fragilité et donc de réaliser une meilleure gestion patrimoniale. En effet, des scores de performance pourront être calculés et indiqués dans la maquette numérique pour des zones particulières de la digue comportant des infrastructures. Cette approche repose sur des modèles d'évaluation de la performance tels que ceux décrits dans [1] ou [8]. La deuxième perspective concerne la prise en compte des incertitudes des données qui peuvent être traitées selon trois approches dans un modèle BIM [13] : vérification et mesure sur le terrain (la plus coûteuse mais la moins risquée) ; affectation d'une note de certitude ; suppression de la donnée en dessous d'un niveau de certitude (la moins coûteuse mais peut très fortement limiter la fonctionnalité du modèle).

Remerciements

Les auteurs remercient l'EP Loire pour leur implication au travers des cas d'études fournis et la validation des travaux, ainsi que France Dignes pour les échanges et le soutien accordé au projet.

Références

- [1] Bambara G. Evaluation de la performance des ouvrages hydrauliques en remblai soumis à la présence de végétation arborescente. 2016.
- [2] Bradley A, Li HJ, Lark R, Dunn S (2016). *BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective*. Automation in Construction. 2016;71:139-52.
- [3] Cavka HB, Staub-French S, Poirier EA (2017). *Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management*. Automation in Construction. 2017;83:169-83.
- [4] Chen C, Tang L (2019). *BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance*. Automation in Construction. 2019;107:102944.
- [5] Curt C, Wittner C, Cherqui F, Ahmadi M, Royet P, Tacnet J-M, et al. (2016). *Collecter, formaliser, qualifier et stocker les données pour gérer les patrimoines*. Sciences Eaux & Territoires. 2016;20:80-5.
- [6] Curt C, Tourment R, Le Gat Y, Wery C, (2018). *Asset management of water and sewer networks, and levees: recent approaches and current considerations*. In Proc. of the The Sixth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE); Ghent, Belgium, 2018.
- [7] Di Maiolo P, Curt C, Peyras L, (2017). *Dégradation des digues due à la présence d'infrastructures : recensement et classification des causes par la méthode des 5 M*. In Proc. of the 35èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC; Nantes, France, 2017.
- [8] Di Maiolo P, Curt C, Peyras L, Tourment R, Beullac B, (2024). *Evaluation de la performance de digues comportant des infrastructures : méthode basée sur la formalisation des connaissances*. In Proc. of the Dignes 2024; Aix-en-Provence, 27-29/03/2024, 2024.
- [9] Farghaly K, Abanda FH, Vidalakis C, Wood G (2018). *Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability*. Journal of Management in Engineering. 2018;34(4).
- [10] Ferrer L, Curt C, Peyras L, Tourment R, (2015). *Impact des réseaux techniques sur la performance d'une digue – Analyse système et Modèle fonctionnel*. In Proc. of the 33èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil; Bayonne, France, 2015.
- [11] Journé L. Approche BIM pour un système multi-infrastructures et étude du couplage avec un système d'informations spatialisées; Université Clermont Auvergne; 2022.
- [12] Le Gat Y, Curt C, Wery C, Caillaud K, Rulleau B, Taillandier F (2023). *Water infrastructure asset management: state of the art and emerging research themes*. Structure and Infrastructure Engineering. 2023:1-24.
- [13] McArthur JJ (2015). *A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability*. Procedia Engineering. 2015;118:1104-11.
- [14] Saint-Martin-Tillet T. Développement d'une approche BIM pour un système multi-infrastructures; Université Clermont Auvergne; 2021.
- [15]. Ville de Saumur, ISL (2016). *Etude De Dangers - DIGUE DE PROTECTION DES CRUES DE LA LOIRE ET DU THOUET A SAUMUR*.
- [16] Wang ZM, Liu J (2020). *A Seven-Dimensional Building Information Model for the Improvement of Construction Efficiency*. Advances in Civil Engineering. 2020.