



HAL
open science

Développement d'un processus BIM (Building Information Modeling) pour un système multi-infrastructures en vue d'améliorer la sécurité des digues de protection contre les inondations

Corinne Curt, Thomas Saint Martin Tillet, Aurélie Talon, Pascal Di Maiolo

► To cite this version:

Corinne Curt, Thomas Saint Martin Tillet, Aurélie Talon, Pascal Di Maiolo. Développement d'un processus BIM (Building Information Modeling) pour un système multi-infrastructures en vue d'améliorer la sécurité des digues de protection contre les inondations. 11èmes Journées Fiabilité des Matériaux et des Structures, Institut Pascal, Jul 2022, CLERMONT-FERRAND, France. hal-04048534

HAL Id: hal-04048534

<https://uca.hal.science/hal-04048534v1>

Submitted on 28 Mar 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Développement d'un processus BIM (Building Information Modeling) pour un système multi-infrastructures en vue d'améliorer la sécurité des digues de protection contre les inondations

CURT Corinne¹, SAINT-MARTIN-TILLET Thomas^{1,2}, TALON Aurélie²,
DI MAIOLO Pascal¹

¹ INRAE, Aix Marseille Université, RECOVER – 3275 Route Cézanne – 13182 Aix en
Provence Cedex 5 – France

² Institut Pascal - Clermont Auvergne INP - Polytech Clermont, Campus Universitaire des
Cézeaux – 2, avenue Blaise-Pascal – TSA 60206– 63178 Aubière Cedex – France

corinne.curt@inrae.fr

RÉSUMÉ.

Dans le contexte des ouvrages hydrauliques, 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 de ces ouvrages. L'objectif est ici de proposer un usage du BIM pour les digues de protection contre les inondations en tant qu'ouvrages pouvant supporter/intégrer d'autres infrastructures. Ces dernières peuvent être à l'origine de désordres au sein de la digue. Une méthode a été développée et une application réalisée sur une digue réelle comportant plusieurs infrastructures (réseaux d'eau, d'assainissement, de gaz, d'électricité et de télécommunication). Une matrice rassemblant les données sur les infrastructures a été proposée. La maquette 3D de la digue a été réalisée et les différentes infrastructures créées dans l'outil, chacune en tant qu'objet caractérisé par ses propriétés recensées dans la matrice de données. Une représentation précise du système {Digue + Infrastructures} est obtenue, avec une centralisation des données. La démarche participe à une amélioration de la gestion patrimoniale.

ABSTRACT.

In the hydraulic context, BIM (Building Information Modeling) is an efficient process to store, manage data, provide multidimensional representations and use data to manage hydraulic works. The objective is to propose a use of BIM to flood protection levees as structures that can support/integrate other infrastructures. The latter can be the cause of disorders within the levee. A method was developed and an application was carried out on a real levee with several infrastructures (water, sewerage, gas, electricity and telecommunication networks). A matrix of infrastructure data was proposed. The 3D model of the dyke was made and the different infrastructures were created in the tool, each as an object characterised by its properties listed in the data matrix. A precise representation of the system {Levee + Infrastructures} is obtained, with a centralization of the data. The approach contributes to an improvement in asset management.

MOTS-CLÉS : Sécurité des digues, BIM, infrastructures, Représentation 3 D, Gestion des données et informations

KEYWORDS: Levee safety, BIM, Infrastructure, 3D representation, Data and information management

Introduction

Les digues sont des ouvrages essentiels pour assurer la protection contre les inondations. Leur défaillance peut avoir des conséquences lourdes sur les personnes, les biens et l'environnement. Les incidents se produisant sur ces ouvrages peuvent provenir soit de désordres 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 et, structures et 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, de nombreuses ruptures ayant été constatées à la faveur de réseaux traversants. Les mécanismes concernés sont multiples : érosion interne, érosion côté zone protégée, glissement, surverse, tassement (Di Maiolo et al., 2017, Ferrer et al., 2015).

La gestion patrimoniale est essentielle pour maintenir, exploiter et renouveler efficacement les infrastructures et, par conséquent, réduire les risques et les impacts. La prise de décision et la mise en place de stratégies efficaces de gestion patrimoniale 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 (Curt et al., 2016). Par exemple, en France, une étude de dangers pour les ouvrages hydrauliques doit être réalisée avec un pas de temps fonction de la classe de l'ouvrage (e.g. 10 ans pour les systèmes d'endiguement et aménagements hydrauliques de Classe A c'est-à-dire protégeant plus de 30 000 personnes). Les données doivent être accessibles rapidement afin de procéder à des diagnostics efficaces et pertinents, dans le but de permettre une gestion adaptée mais également de pouvoir réagir en cas d'inondation.

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 ; c'est 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) (Bradley et al., 2016, Cavka et al., 2017, Farghaly et al., 2018, Wang and Liu, 2020). Sept dimensions sont actuellement considérées : géométrie 3D, temporalité (4D), coûts (5D), soutenabilité (6D), cycle de vie et maintenance (7D) (Chen and Tang, 2019). 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 (environ 7200 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 (Chen and Tang, 2019) et aucun d'eux ne traite de l'utilisation de cette approche pour les digues. Les gestionnaires de digues disposent du 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).

L'objectif de l'article est ainsi de proposer un usage du BIM pour les digues de protection contre les inondations en tant qu'ouvrages pouvant supporter/intégrer d'autres infrastructures (réseaux d'eau, d'assainissement, de gaz, routes notamment). 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 les données qui soient pertinentes pour les différents gestionnaires et d'autre part, à réaliser dans un premier temps une représentation 3D du système étudié pour dans un deuxième temps (non présenté dans cet article – en cours de développement) exploiter ces données pour la gestion de la maintenance de ces systèmes.

Méthode

La méthode est composée de plusieurs étapes (Fig. 1).

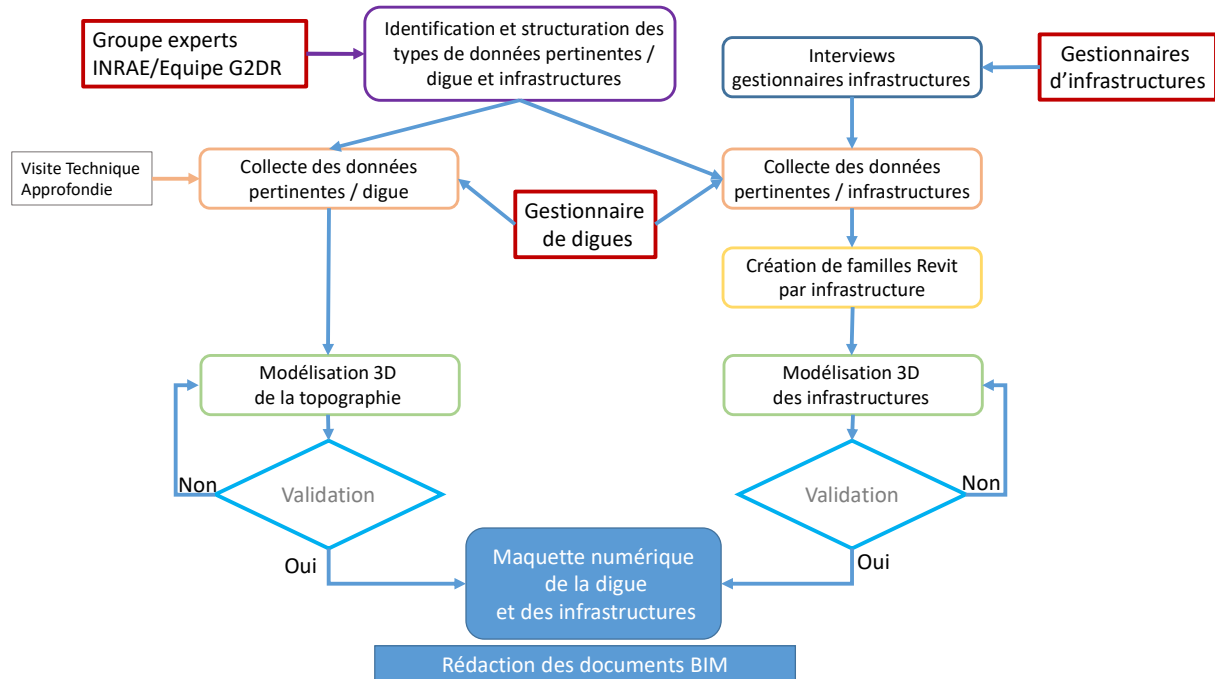


Fig. 1 : Méthode

La première étape vise à identifier les données nécessaires à connaître sur la digue et les infrastructures. Elle est réalisée avec l'appui d'un groupe d'experts des ouvrages hydrauliques de l'équipe G2DR d'INRAE. Une fois identifiées, elles sont organisées selon différents champs afin de leur donner une meilleure lisibilité : identification (contacts dans l'entreprise gestionnaire de l'infrastructure); fonction et situation de l'infrastructure (réseaux traversants/longitudinaux, matériau transporté...); informations sur le chantier de pose ; caractéristiques de l'infrastructure (diamètre de la conduite, matériau constitutif...) et données sur l'inspection, maintenance, réparation.

La collecte des données s'effectue ensuite auprès des gestionnaires de la digue et de ceux des différents réseaux au travers de l'analyse de documents, de plans, et d'interviews. Les gestionnaires sont interrogés également sur les données qu'ils souhaiteraient disposer sur les autres infrastructures (pour rappel, le travail étant centré sur les digues, la première étape ne s'intéresse pas aux interactions par exemple entre deux réseaux comme eau et électricité), et sur la confidentialité de leurs propres données. Les données recueillies sont organisées selon les catégories définies au cours de l'étape 1.

Les données sont ensuite exploitées pour réaliser la maquette numérique à partir du logiciel REVIT. Deux méthodes ont été employées (Fig. 2) :

- la première 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, logiciel de modélisation paramétrique lié à Revit ;

- la deuxième méthode 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.

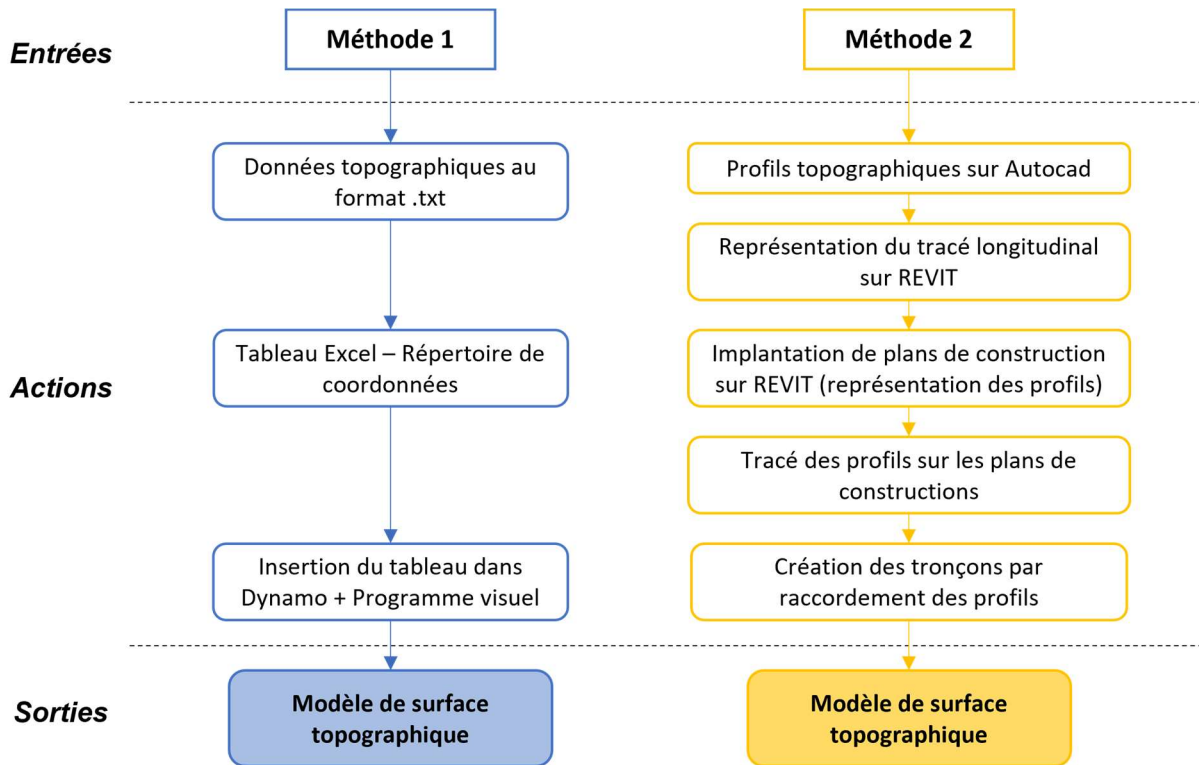


Fig. 2 : Logigramme des deux méthodes de modélisation de la digue

Pour les deux méthodes, les infrastructures sont modélisées comme des objets paramétriques (Fig. 3). Elles sont d’abord modélisées comme familles (groupe d’éléments qui partage des propriétés communes), puis sont insérées dans la maquette au fur et à mesure des informations recueillies et de leur développement. Concrètement, pour représenter une canalisation circulaire linéaire sur Revit, on crée une famille – cylindre creux, tube – auquel on attribue trois paramètres majeurs, sa longueur, son diamètre, et l’épaisseur de l’objet. Un quadrillage où les différentes côtes sont associées à des paramètres est créé. La forme voulue est dessinée dans le quadrillage, ici un disque, grâce à l’outil extrusion qui permet de monter une forme dessinée en 2 dimensions à une forme en 3 dimensions. Les formes sont ensuite attachées aux différentes côtes, ce qui permet finalement de ne plus avoir à dessiner les tubes, le logiciel le faisant automatiquement quand on rentre les dimensions souhaitées (Fig. 3). Les infrastructures sont ensuite insérées sur la maquette de la digue.

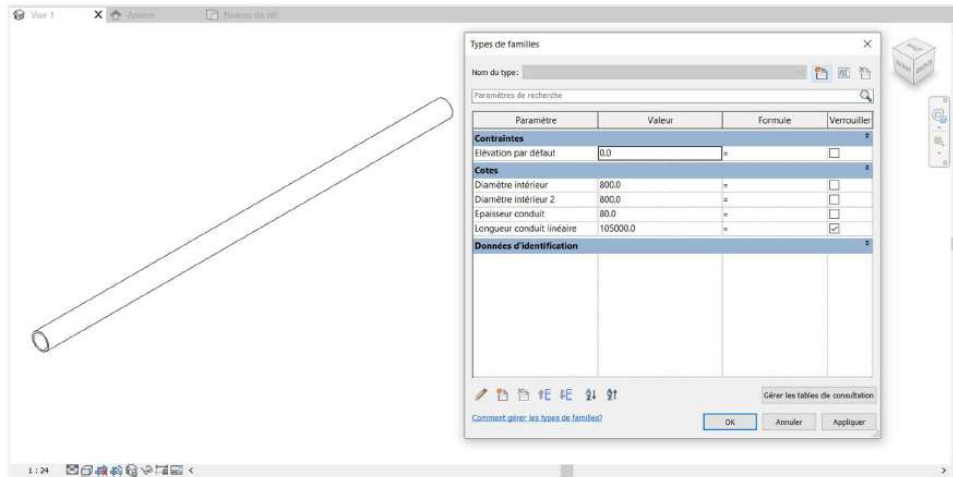


Fig. 3 : Modélisation d'une famille paramétrique de type réseau

Une étape de validation auprès des gestionnaires finalise la méthode. Il s'agit de vérifier la cohérence de la représentation et des données renseignées pour les différentes infrastructures. Au final, on obtient la maquette numérique du système {digue + infrastructures} et la caractérisation de chacune d'entre elles selon les catégories de données définies dans l'Étape 1.

A côté de la maquette numérique, a été rédigée la charte collaborative BIM, dans laquelle sont décrits les objectifs du projet, le processus d'échanges, les partenaires impliqués, la plateforme de collaboration utilisée (ici Kroqi) et les conventions de nommage associés aux fichiers déposés sur cette plateforme.

Cas d'étude

Les travaux ont été appliqués à la Digue de Vernusson (Fig. 4 – Fig. 5) en partenariat avec l'EP Loire. Elle est située au sud de la métropole d'Angers, entre les communes des Ponts-de-Cé et de Sainte-Gemmes-sur-Loire, en aval du Pont Bourguignon. Ce remblai empêche les entrées d'eau de la Loire dans le casier de Vernusson, permettant alors de protéger les habitations, commerces et bureaux se trouvant dans cette zone. Cette digue répond au critère d'une digue de classe C. Elle se situe en zone sismique 2 (faible) au regard du zonage de la France. Un chemin de promenade pour piétons est présent en rive droite.

Le remblai, d'une longueur de 2 km, longe la rive droite de l'Authion, affluent direct du fleuve Loire. Sa hauteur est de 5,0 m, et son point bas est localisé à 21,2 mNGF. Le niveau du terrain naturel est situé, quant à lui, à 16,2 mNGF au plus bas. La crête a une largeur d'environ 15 mètres. Les matériaux du corps de digue sont globalement des argiles plus ou moins sableuses ou des sables plus ou moins argileux. Les sondages ont montré que la fondation présente une lithologie du type : terre /remblai ; alluvions de type sable/argile ; schiste ou ardoise à partir de 6 à 7,7 m de profondeur.

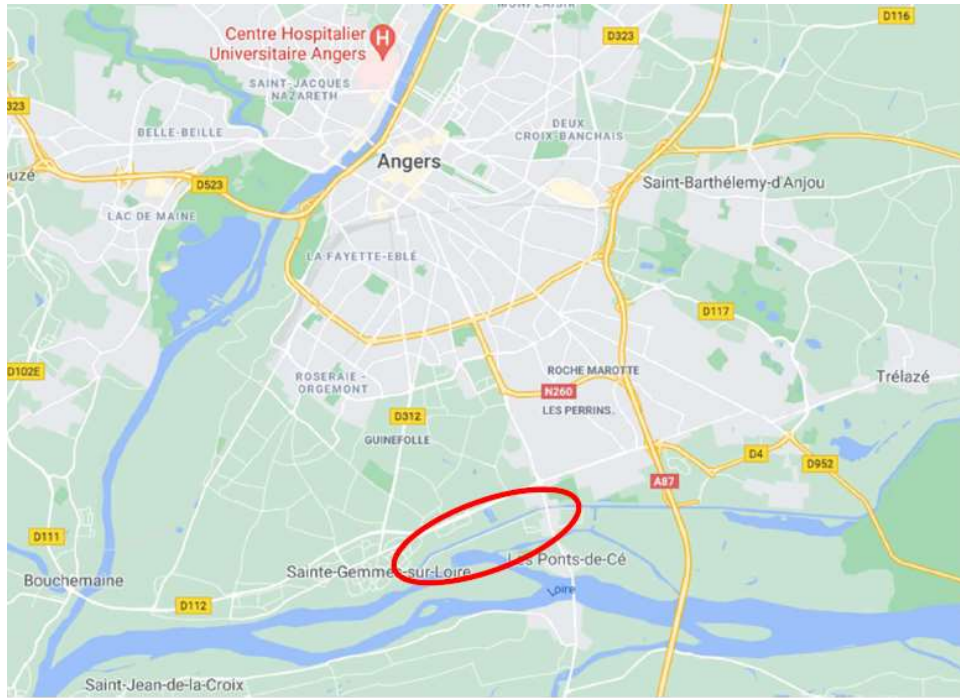


Fig. 4 : Situation de la digue de Vernusson par rapport à la métropole d'Angers - <https://www.google.fr/maps>



Fig. 5 : Vue satellite de la digue - <https://www.google.fr/maps>

Résultats

Inventaire des infrastructures

La digue de Vernusson, comme la plupart de ces ouvrages, comporte de nombreuses infrastructures assurant différents services (eau potable, eaux usées, énergie, communication, routes, etc.) ; elles sont situées dans ou à proximité de la digue et placées de manière longitudinale ou perpendiculaire à celle-ci : ouvrages équipés de clapets anti-retour et d'un système de pompage pour l'évacuation du ruisseau, réseau électrique, réseaux de télécommunication, réseau de gaz, réseau d'eau potable.

Création des familles paramétriques pour les infrastructures

Les différentes infrastructures ont été créées dans l'outil (Fig. 3), chacune en tant qu'objet caractérisé par ses propriétés recensées dans la matrice de données : données topographiques et dimensionnelles pour une intégration dans la maquette numérique (Fig. 7) et données de caractérisation sur la pose, le matériau constitutif et la gestion de l'infrastructure (Fig. 6). L'outil développé comporte donc une base de données qui pourra être consultée par le gestionnaire de l'infrastructure considérée mais également par les autres gestionnaires qui auraient besoin d'informations sur celle-ci, dans le cadre par exemple de travaux de maintenance. La liste des données accessibles aux autres gestionnaires est à discuter entre gestionnaires car seules les données pertinentes doivent en faire partie, pour des raisons de simplicité d'utilisation d'une part et de confidentialité d'autre part.

Avec le paramétrage des familles, il est donc possible d'insérer dans la maquette de la digue tous les types d'infrastructures recensées sur la Digue de Vernusson. Toutefois, à l'heure actuelle – notamment du fait des conditions liées à la crise sanitaire au printemps 2021 et de la difficulté à échanger avec les gestionnaires d'infrastructures – ont été recueillies uniquement certaines informations sur les réseaux d'eau pluviale (certaines informations n'étaient pas connues du gestionnaire). Seul ce réseau a été représenté sur la Fig. 7.



Paramètre	Valeur
Contraintes	
Cotes	
Diamètre intérieur	1.8000
Diamètre intérieur 2	1.8000
Epaisseur conduit	0.1800
Longueur conduit linéaire	285.0000
Données d'identification	
Image du type	
Note d'identification	Collecteur EP 1
Modèle	
Fabricant	
Commentaires du type	Matériau : Béton

Fig. 6 : Propriétés du collecteur #1 d'eau pluviale

Maquette numérique

La maquette 3D de la digue a été réalisée à partir des données sur la digue et de celles sur les infrastructures, selon les méthodes présentées plus haut.

Il est ensuite possible de réaliser des coupes longitudinales ou transversales du système, d'avoir à disposition des informations sur les infrastructures (diamètre, matériau...).

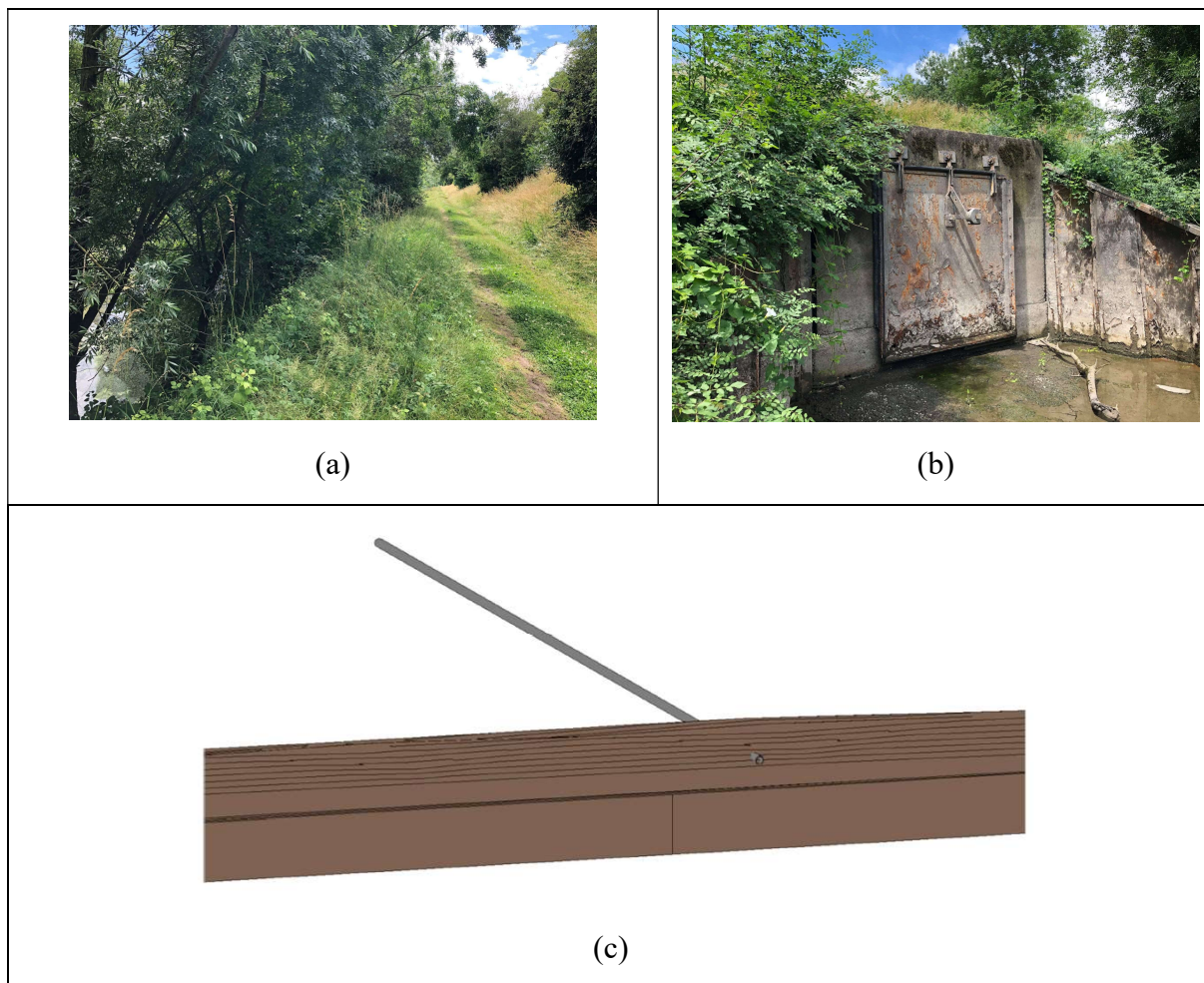


Fig. 7 : (a) vue d'une partie de la digue – (b) présence d'un ouvrage d'évacuation des eaux pluviales – (c) représentation de la digue et de l'ouvrage d'évacuation des eaux pluviales

En outre, pour éviter toute superposition entre réseaux, il existe des normes concernant les profondeurs et les écarts minimums entre ceux-ci (Fig. 8) : il s'agit d'éviter au maximum tout croisement entre des réseaux de même nature ou de différentes natures. La maquette peut être utile dans cette analyse en permettant l'analyse des intersections géométriques entre objets (« détection de clashes »).

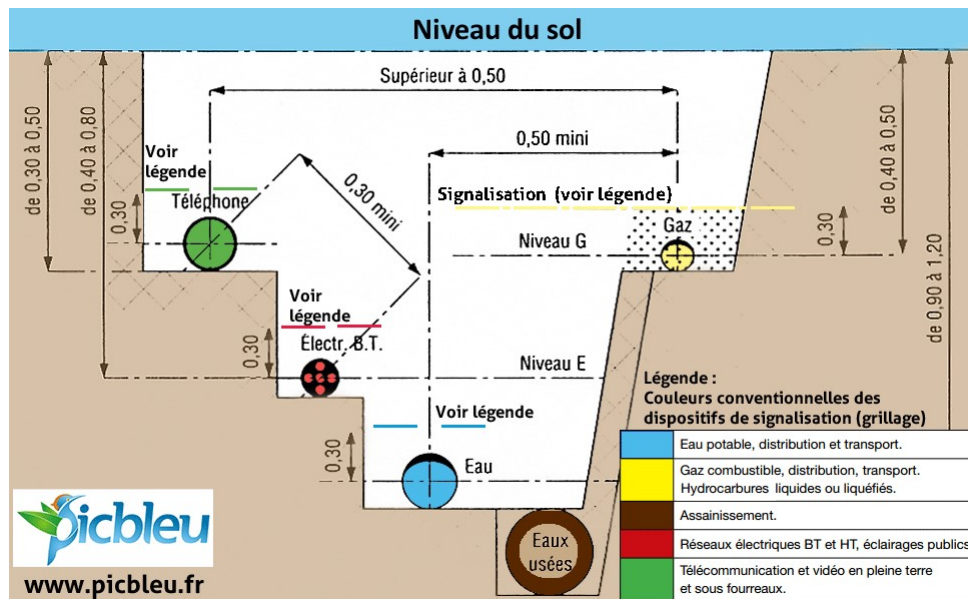


Fig. 8 : Distances minimales normalisées entre les différents types de réseaux – Source : Picbleu.fr

Conclusion

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.

La faisabilité de l'approche et son intérêt notamment pour les gestionnaires de digues ont été montrés sur un exemple réel. L'approche est générique et donc applicable à d'autres cas.

Nous nous sommes plus particulièrement penchés sur les réseaux dans cette première partie de l'étude. Un travail en cours vise à recenser, caractériser et modéliser d'autres types de structures ou infrastructures présentes dans, sur, ou à proximité de la digue (vanne, poteau, pont, etc.) pouvant influencer plus ou moins fortement les mécanismes de dégradation des digues.

Par ailleurs, le processus BIM présenté dans cette communication est complémentaire au SIRS Dignes (<https://www.france-digues.fr/sirs-digues/>) qui fournit une représentation cartographique en 2D des données, sur de très grands linéaires. Une analyse sur l'interopérabilité de ces deux outils est également en cours. Le BIM est complémentaire au SIRS Dignes en apportant dans un premier temps une précision en 3D pour certaines zones de la digue comportant des infrastructures.

Enfin, deux perspectives de moyen terme sont envisagées. Il s'agit tout d'abord du couplage du processus BIM à un modèle de diagnostic (Bambara, 2016), l'utilisation de la maquette numérique permettra de détecter des désordres ou des points de fragilité et donc de réaliser une meilleure gestion patrimoniale. La deuxième perspective concerne la prise en compte des incertitudes des données qui peuvent être traitées selon trois approches dans un modèle BIM (McArthur, 2015) : 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). En outre, le BIM permet une visualisation du niveau de risque comme par exemple le risque

économique sur un bâtiment induit par l'apparition d'un tassement provoqué par le percement d'un tunnel dans une zone proche de ce bâtiment (Providakis et al., 2020).

Références

- BAMBARA, G. 2016. *Evaluation de la performance des ouvrages hydrauliques en remblai soumis à la présence de végétation arborescente*. Ph.D thesis.
- BRADLEY, A., LI, H. J., LARK, R. & DUNN, S. 2016. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139-152.
- CAVKA, H. B., STAUB-FRENCH, S. & POIRIER, E. A. 2017. Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. *Automation in Construction*, 83, 169-183.
- CHEN, C. & TANG, L. 2019. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. *Automation in Construction*, 107, 102944.
- CURT, C., WITTNER, C., CHERQUI, F., AHMADI, M., ROYET, P., TACNET, J.-M. & LE GAT, Y. 2016. Collecter, formaliser, qualifier et stocker les données pour gérer les patrimoines. *Sciences Eaux & Territoires*, 20, 80-85.
- 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. *35èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC*. Nantes, France.
- FARGHALY, K., ABANDA, F. H., VIDALAKIS, C. & WOOD, G. 2018. Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability. *Journal of Management in Engineering*, 34.
- FERRER, L., CURT, C., PEYRAS, L. & TOURMENT, R. 2015. Impact des réseaux techniques sur la performance d'une digue – Analyse système et Modèle fonctionnel. *33èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil*. Bayonne, France.
- MCARTHUR, J. J. 2015. A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104-1111.
- PROVIDAKIS, S., ROGERS, C. D. F. & CHAPMAN, D. N. 2020. Assessing the Economic Risk of Building Damage due to the Tunneling-Induced Settlement Using Monte Carlo Simulations and BIM. *Sustainability*, 12, 10034.
- WANG, Z. M. & LIU, J. 2020. A Seven-Dimensional Building Information Model for the Improvement of Construction Efficiency. *Advances in Civil Engineering*, 2020.