



HAL
open science

Analyse de données géospatiales et création de maquettes numériques pour la Gestion Exploitation Maintenance (GEM) d'ouvrages maritimes et portuaires

Hélène Macher, Yvon Kila

► To cite this version:

Hélène Macher, Yvon Kila. Analyse de données géospatiales et création de maquettes numériques pour la Gestion Exploitation Maintenance (GEM) d'ouvrages maritimes et portuaires. Rencontres de l'Ingénierie Maritime 2024, Builders École d'ingénieurs, Jun 2024, Caen, France. hal-04705494

HAL Id: hal-04705494

<https://hal.science/hal-04705494v1>

Submitted on 23 Sep 2024

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.

ANALYSE DE DONNEES GEOSPATIALES ET CREATION DE MAQUETTES NUMERIQUES POUR LA GESTION EXPLOITATION MAINTENANCE (GEM) D'OUVRAGES MARITIMES ET PORTUAIRES

Auteurs : MACHER Hélène¹ & KILA Yvon²

¹Université de Strasbourg, CNRS, INSA Strasbourg, Laboratoire ICube UMR 7357, groupe Photogrammétrie Architecturale et GEomatique, INSA Strasbourg, 24 Bd de la Victoire, 67000 Strasbourg, France, helene.macher@insa-strasbourg.fr

²Ferrcad, 450 Rue Baden Powell, 34 000 Montpellier, France, ferrcad@ferrcad.com

RESUME : *Pour proposer la meilleure stratégie de rénovation d'une infrastructure, il est primordial de connaître l'état actuel de l'actif ainsi que l'évolution de la structure dans le temps. La documentation liée à une infrastructure est néanmoins rarement à jour, voire inexistante et il est nécessaire de collecter des informations sur l'actif. Dans cet article, l'exploitation de données géospatiales et de maquettes BIM paramétriques est proposée pour l'analyse des déformations passées et actuelles d'infrastructures. Le môle nord du port de Camaret-sur-Mer a été sélectionné comme cas d'étude. Des images satellites et un nuage de points 3D sont notamment utilisés pour l'étude de la structure.*

MOTS CLEFS : GEM, dégradations, images satellites, numérisation 3D, maquette numérique

ABSTRACT: *In order to propose the optimal strategy for renovating an infrastructure, it is essential to have an accurate understanding of the current state of the asset and how the structure has changed over time. However, documentation relating to an infrastructure is rarely up to date, or even non-existent, and it is necessary to collect information about the asset. This article proposes the use of geospatial data and parametric BIM models to analyze past and present deformations of infrastructures. The north breakwater of the port of Camaret-sur-Mer was selected as a case study. Satellite images and a 3D point cloud were employed to study the structure.*

KEYWORDS: Management, Operations, and Maintenance (MOM), damage, satellite imagery, 3D digitization, BIM model

1. INTRODUCTION

En France, de nombreuses infrastructures en milieu maritime et portuaire sont vieillissantes et doivent être rénovées. La rénovation d'infrastructures nécessite de connaître l'état actuel mais aussi l'évolution de la structure dans le temps. En effet, l'analyse des déformations et dégradations passées combinée à l'évaluation des dégradations actuelles des ouvrages permet de donner des hypothèses quant aux dégradations futures des ouvrages. Le présent article vise à

démontrer l'intérêt d'exploiter des données géospatiales et des maquettes BIM paramétriques dans cette analyse. Le cas d'étude et les données à disposition sont présentés dans un premier temps. Puis, une analyse temporelle de l'actif est proposée. Enfin, l'état actuel de l'actif est étudié par le biais de la création d'une maquette BIM.

1.1 Cas d'étude : le môle nord du port de Vauban

Le cas d'étude sélectionné est le môle nord du port de Vauban à Camaret-sur-Mer (Figure 1). Une mission de maîtrise d'œuvre est en cours pour la réparation de cet ouvrage. Le môle d'environ 200 mètres de long est composé de blocs en béton préfabriqués posés sur une assise en remblai protégée par une carapace en enrochements naturels ou artificiels. La date exacte de construction de l'infrastructure n'est pas connue mais une analyse des images aériennes fournies par l'IGN permet de situer la construction dans les années cinquante ou soixante (présence de l'actif sur une prise de vue aérienne datant de 1968). Compte tenu de son âge, l'infrastructure présente de nombreuses dégradations qu'il est nécessaire d'évaluer pour élaborer la meilleure stratégie de rénovation.



Figure 1. Prise de vue aérienne du port de Vauban à Camaret-sur-Mer (date de la prise de vue : 14/06/2021, résolution : 20 cm – Source : Géoportail, IGN)

1.2 Les données à disposition

Le gestionnaire de l'ouvrage n'a mis à disposition qu'un plan topographique du môle datant de 2002, il y a plus de 20 ans. Lorsqu'il s'agit d'ouvrages existants, les documents sont malheureusement rarement à jour, voire inexistant.

Dans le cadre de la maîtrise d'œuvre, des données complémentaires ont été collectées pour pallier le manque d'informations sur la structure. Un reportage photo a été réalisé par le maître d'œuvre lors de sa visite du site (Figure 2a). Un rapport de diagnostic a été réalisé fin 2023 par le cabinet SOS PLONGÉE. Une inspection a été réalisée côté mer, à l'extrémité de l'ouvrage et côté port. Le rapport met en évidence les éléments constitutifs de l'ouvrage et les désordres constatés. Enfin, le cabinet MESURIS a réalisé fin 2023 une acquisition 3D du môle et de son environnement. Un système multi-capteurs positionné sur un bateau a été utilisé. Comme le soulignent Lucarelli *et al.* (2019), l'avantage d'un tel système est que les relevés des zones émergées et submergées sont réalisés simultanément et que l'étape d'assemblage est réalisée dès l'acquisition des données. Les parties émergées ont été acquises à l'aide d'un scanner laser et les parties immergées ont été levées par un sondeur multifaisceaux. Les données sont géoréférencées. La combinaison des données du scanner et du sondeur permet d'obtenir un nuage de points 3D décrivant l'état actuel du môle et de son environnement proche (Figure 2b).



Figure 2. Données complémentaires : (a) photo prise lors de la visite du site (Source : Ingérop); (b) nuage de points 3D du môle

2. ETUDE DES DEGRADATIONS DU MOLE DANS LE TEMPS

Afin d'étudier les dégradations de l'ouvrage dans le temps, les événements climatiques significatifs ont d'abord été identifiés. Puis, les images satellites avant et après les événements ont été collectées. A noter que notre étude a porté uniquement sur les dix dernières années. En effet, la résolution des images satellites n'était pas suffisante avant 2014 pour détecter des éventuels mouvements sur le môle.

2.1 Identification des événements climatiques significatifs

Les dégradations de l'infrastructure sont bien entendu liées aux événements climatiques. Ceux-ci sont particulièrement fréquents dans la zone géographique du môle.

Les données du Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ (Candhis) géré par le Cerema ont été étudiées. L'objectif du Candhis est de promouvoir la mesure des états de mer dans le domaine proche côtier et d'assurer la diffusion des données auprès de la communauté scientifique, des professionnels de la mer et du grand public. Sur les dix dernières années, des événements remarquables ont été identifiés aux dates suivantes : 05/02/2014,

06/01/2014, 08/02/2014, 14/02/2014, 02/01/2016, 02/02/2017, 30/01/2021. Les données du Candhis issues des relevés de la bouée la plus proche du site nous renseignent finement sur la climatologie des houles. Les houles d'ouest sont les plus impactantes pour le môle étudié. Autres données importantes, les houles plus importantes avec un impact potentiel sur l'ouvrage se présentent plus souvent de novembre à avril (climatologie hivernale).

La période où l'ouvrage est donc le moins soumis aux aléas hydrodynamiques liés à la houle se situe dans la période de climatologie estivale soit de mai à octobre. Il en résulte que pour observer des modifications notables sur l'ouvrage, il est plus opportun d'analyser l'infrastructure entre 2 périodes hivernales soit à chaque été.

2.2 Collecte d'images satellites

Les images satellites disponibles dans la zone ont été collectées pour compenser le manque de données sur les années passées et étudier l'évolution de l'ouvrage dans le temps. La base de données DINAMIS qui propose des images satellites haute résolution (50 cm) de Data Terra a été utilisée. Data Terra est une infrastructure de recherche qui a pour objectif la mise à disposition de données atmosphériques, climatiques, océanographiques, sismiques et spatiales.

L'outil DSM-OPT proposé par ForM@Ter a été testé. Celui-ci permet de générer des MNS (Modèle Numérique de Surface) à partir d'images stéréo/tri-stéréo Pléiades. Malheureusement, des images stéréo ne sont pas disponibles pour toutes les années. De plus, le nuage de points généré n'est pas très dense et se limite à la partie supérieure du môle. Dans des travaux futurs, des traitements seront réalisés sur les images satellites directement. Comme expliqué par Mokhtar *et al.* (2023), il est également possible d'estimer des informations bathymétriques à partir d'images satellites.

3. CREATION D'UNE MAQUETTE NUMERIQUE DU MÔLE

3.1 Création d'objets paramétriques composant le môle

Afin d'étudier l'état actuel du môle, une maquette numérique de l'infrastructure a été créée. Les informations recueillies par les plongeurs, le plan topographique de 2002 et des profils dans le nuage de points 3D ont servi de base à la création de cette maquette.

Pour faciliter la mise en œuvre d'un processus automatisé, l'entreprise Ferrcad a créé un catalogue d'objets BIM paramétriques appelés « Typos » rencontrés dans les infrastructures maritimes, portuaires et fluviales. Chaque « Typo » est décrite par des paramètres géométriques, des paramètres sémantiques et des paramètres de dimensionnement. Les objets BIM paramétriques non disponibles dans le catalogue ont, dans un premier temps, été créés. La maquette BIM du môle nécessite 12 familles d'objets BIM paramétriques (Figure 3), 10 de ces 12 familles ont été créées dans le cadre de ce projet. Les objets BIM paramétriques créés dans le cadre de cet article pourront être réexploités dans d'autres projets.

Un plan de définition associé à un tableur Excel a été créé pour le môle (Typo_F1.1). Il représente les différentes familles d'objets BIM paramétriques qui sont utilisées et définit les contraintes géométriques entre les différents objets BIM paramétriques constituant la Typo. L'application FerrMAP (modélisation automatique paramétrique) développée par l'entreprise

Ferrcad permet ensuite de générer automatiquement la maquette numérique du môle à partir de ces informations. Plusieurs comparaisons avec le nuage de points, notamment par l'intermédiaire de coupes transversales, ont permis d'affiner la maquette. A chaque modification, une maquette est régénérée de manière automatique.

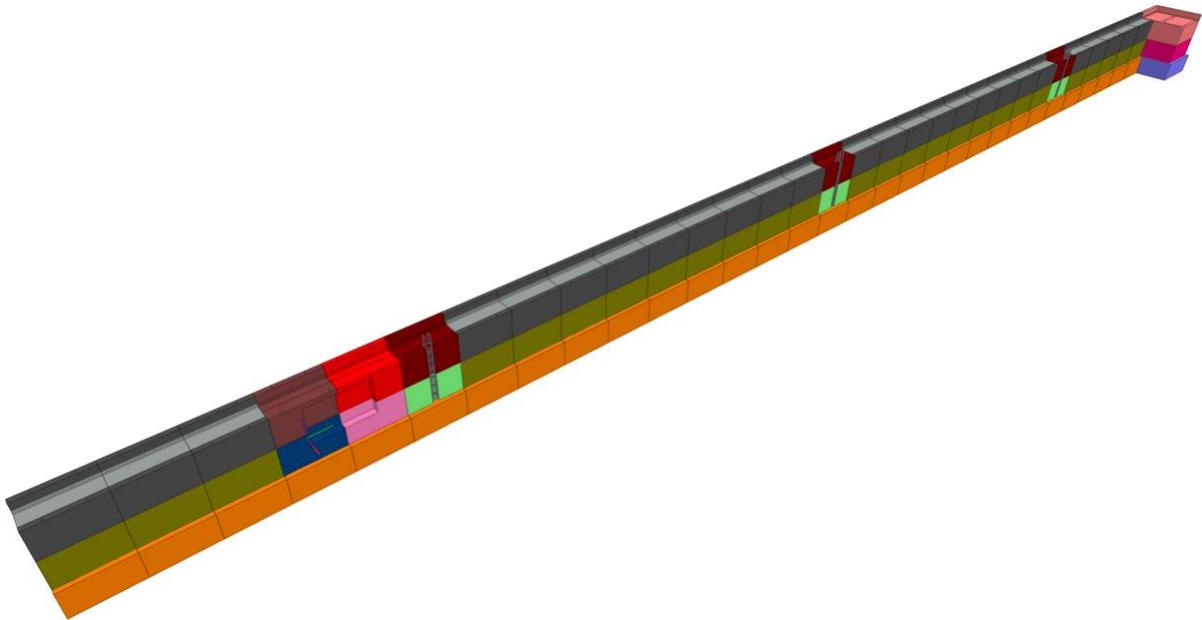


Figure 3. Familles d'objets BIM paramétriques composant le môle (Typo_F1.1), une couleur par famille

3.2 Scan-vs-BIM : évaluation des dégradations actuelles

Dans la littérature, un intérêt grandissant est porté à la confrontation entre nuages de points et modèles « tels que conçus ». Le terme scan-vs-BIM est fréquemment employé. Ce processus consiste à recalcr entre eux le nuage de points de l'existant et la maquette numérique créée dans la phase de conception, et à analyser les écarts entre nuage et maquette numérique (Bosché *et al.*, 2015). Le recalage entre une maquette numérique et un nuage de points peut se faire de plusieurs manières : de manière absolue en géoréférençant la maquette et le nuage de points, de manière relative (recalage grossier puis recalage fin), ou bien à partir de correspondances basées sur des descripteurs (Bassier *et al.*, 2020).

Dans notre projet, la maquette numérique correspond à une géométrie théorique « parfaite » à comparer avec le nuage de points 3D qui traduit des dégradations de l'ouvrage. La maquette numérique et le nuage de points sont géoréférencés. Ainsi, un recalage grossier est déjà réalisé. Pour automatiser et optimiser l'étape de comparaison, Ferrcad développe une brique technologique nommée FerrSRO (suivi et réception d'ouvrages). Cet outil considère en entrée la maquette numérique et le nuage de points de points. Un recalage fin est d'abord réalisé pour éliminer les éventuelles erreurs de géoréférencement. Sur la base des recommandations de Babin *et al.* (2019), l'algorithme ICP point à plan avec un noyau robuste Cauchy est utilisé pour le recalage fin des données. Les écarts entre les points du nuage et la maquette sont ensuite calculés. Les écarts sont finalement représentés à l'aide d'une échelle de couleurs. La Figure 4

présente le résultat de la comparaison pour une portion du môle. Les écarts importants au bas de l'ouvrage indiquent qu'une modification de la maquette est nécessaire. L'analyse des écarts peut se faire à l'échelle de l'infrastructure ou pour chaque objet 3D. A terme, l'outil proposera un rapport d'analyse présentant une synthèse des écarts observés et mettant en avant les zones pour lesquelles les tolérances ne sont pas respectées dans le cas d'une opération de suivi de chantier par exemple.

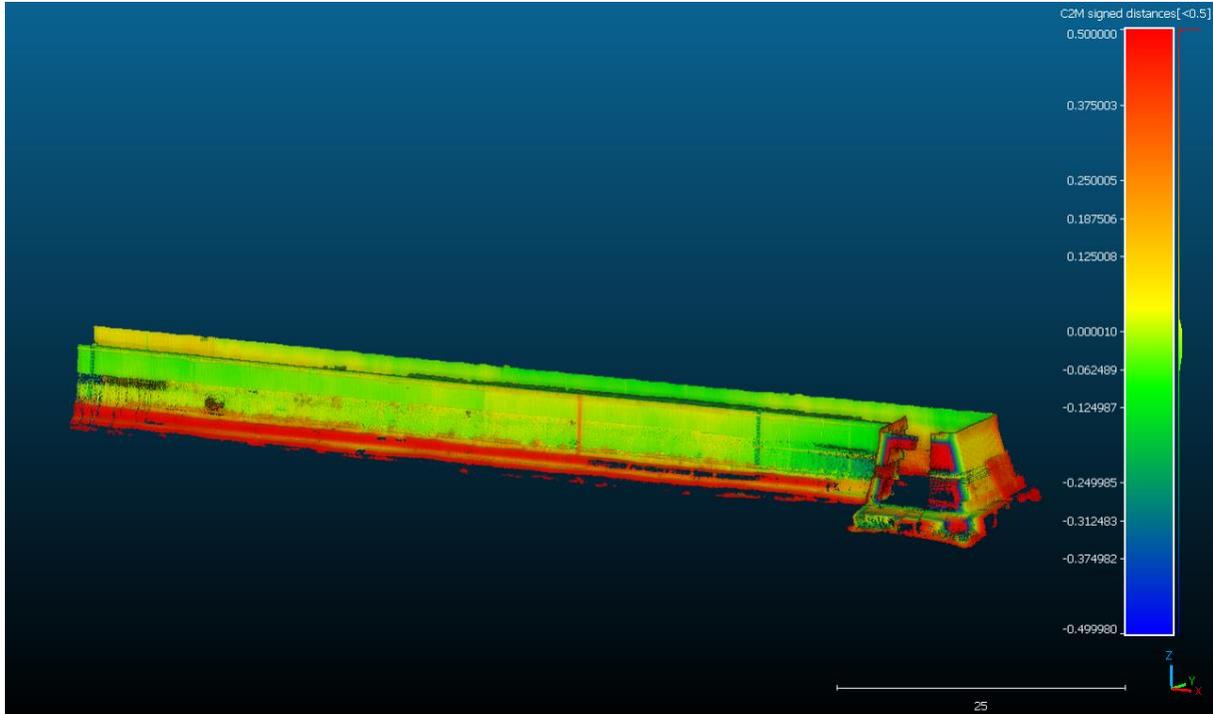


Figure 4. Analyse des écarts entre la maquette numérique et le nuage de points

4. CONCLUSION

Dans le cadre de la rénovation d'une infrastructure, la documentation sur l'infrastructure est cruciale. Lorsque qu'il y a peu ou pas d'informations, il est nécessaire de faire des levés complémentaires. Les techniques de numérisation 3D se développent et sont pertinentes pour obtenir l'état actuel d'une infrastructure. De manière itérative, il est possible de reconstruire une maquette numérique 3D « théorique » de l'infrastructure et d'étudier l'état actuel de l'infrastructure en comparant la maquette au nuage de points 3D. Pour l'étude de la structure dans le temps, des images satellites sont disponibles. Dans des travaux futurs, les algorithmes de traitement d'images seront étudiés pour l'analyse temporelle de la structure.

5. REFERENCES

Babin, P., Giguere, P., Pomerleau, F., 2019. *Analysis of robust functions for registration algorithms*. In 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1451-1457, <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8793791>

- Bassier, M., Vincke, S., De Winter, H., Vergauwen, M., 2020. *Drift invariant metric quality control of construction sites using BIM and point cloud data*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(9): 545, <https://doi.org/10.3390/ijgi9090545>
- Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., Haas, R., 2015. *The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components*. Automation in Construction, 49: 201-213, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>
- Lucarelli, A., Brandolini, P., Corradi, N., De Laurentiis, L., Federici, B., Ferrando, I., Lanzone, A., Sguerso, D., 2019. *Potentialities of integrated 3D surveys applied to maritime infrastructures and to the study of morphological/sedimentary dynamics of the seabed*. In Proceedings of the IMEKO TC-19 International Workshop on Metrology for the Sea, Genoa, Italy, pp. 3-5
- Mokhtar, K., Chuah, L. F., Abdullah, M. A., Oloruntobi, O., Ruslan, S. M. M., Albasher, G., Ali, A., Akhtar, M. S., 2023. *Assessing coastal bathymetry and climate change impacts on coastal ecosystems using Landsat 8 and Sentinel-2 satellite imagery*. Environmental Research, 239: 117314, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117314>