



**HAL**  
open science

## Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi-échelle et multi-temporelle

Florent Comte, Eloi Gattet, El Mustapha Mouaddib, Renato Saleri, Anthony Pamart

### ► To cite this version:

Florent Comte, Eloi Gattet, El Mustapha Mouaddib, Renato Saleri, Anthony Pamart. Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi-échelle et multi-temporelle. Nais-sance et renaissance d'une cathédrale, Apr 2024, Paris Cité de l'architecture et du patrimoine, France. hal-04576693

**HAL Id: hal-04576693**

**<https://hal.science/hal-04576693>**

Submitted on 15 May 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

# Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi-échelle et multi-temporelle

Comte F<sup>1</sup>, Gattet E.<sup>2</sup>, Mouaddib E. M.<sup>3</sup>, Pamart A<sup>1</sup>, Saleri R.<sup>4</sup>

- 1 – CNRS/MAP/Marseille
- 2 – SAS Mercurio Imaging/Marseille
- 3 – Université de Picardie Jules Verne/Laboratoire MIS/Amiens
- 4 – ENSAL/MAP-Aria/Lyon



## Les voûtes, un challenge d'accessibilité

L'accumulation et l'enchevêtrement des vestiges de la charpente accumulés au dessus des voûtes de Notre-Dame pendant l'incendie ainsi que la pose successive d'un plancher technique de protection (visible à gauche) rendait impossible le déploiement d'un drone pour les relevés photogrammétriques permettant de documenter périodiquement le déblaiement de l'extrados des voûtes.

C'est par la mise au point d'un protocole numérique prédictif qu'il a été possible de développer et d'optimiser le positionnement et le fonctionnement d'un cable-cam photographique (en haut à droite) dont la mise en œuvre périodique a pu être effectuée en toute sécurité et à la demande par des personnels non spécialistes (cordistes, photographes). Un drone de petite taille (Parrot Anafi) a pu être en revanche utilisé pour le relevé complet de l'intrados des voûtes (en bas à droite).

Ces deux techniques complémentaires ont ainsi permis de contourner les contraintes de la numérisation de cet espace essentiel de la cathédrale après l'incendie.



Figure 1. Instrumentation utilisée pour la numérisation de l'intrados et de l'extrados des voûtes de Notre-Dame de Paris après l'incendie.

Crédits: (gauche) Roxane Roussel, MAP; (en haut à droite) Alexis Komenda, C2RMF; (en bas à droite) El Mustapha Mouaddib, MIS

En suivant ce lien, vous pouvez télécharger la publication d'origine :



Kévin Jacquot, Renato Saleri. Gathering, integration, and interpretation of heterogeneous data for the virtual reconstruction of the Notre Dame de Paris roof structure. *Journal of Cultural Heritage*, 2023.

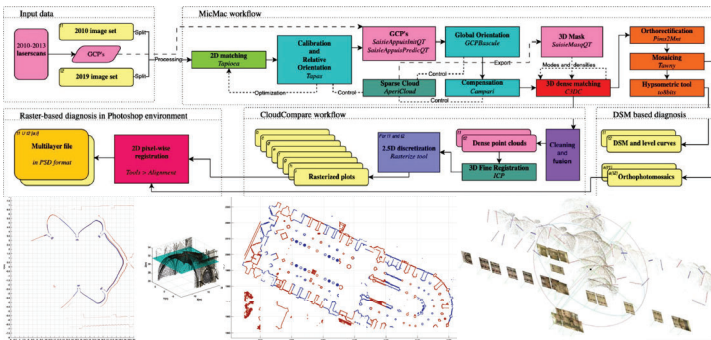


Figure 2. Relevés réalisés par des méthodes d'acquisition photographiques et laser complémentaires, servant à l'évaluation de la déformation et de la stabilité structurelle de Notre-Dame de Paris.

Crédits: El Mustapha Mouaddib, MIS ; Anthony Pamart, MAP ; Marc Pierrot-Deseilligny, Daniel Girardeau-Montaut

## La numérisation des espaces, des solutions complémentaires

Après l'incendie, un travail en urgence a été réalisé pour évaluer la déformation et donc la stabilité structurelle. Deux approches complémentaires ont été utilisées : d'une part, la modélisation photogrammétrique des voûtes à partir de photographies d'archive avant incendie, comparée à une nouvelle acquisition d'images sur le chantier après incendie ; d'autre part, la comparaison de relevés lasers des piliers avant incendie (relevé de Tallon) avec de nouveaux faits après l'incendie.

Dans le premier cas, plusieurs pistes de comparaisons ont été initiées (comparer les orthomosaïques et les cartes de profondeur, ou directement les nuages de points), délivrées dans un ensemble 2.5D multicouches (format PSD). Dans le second cas, un outil d'ICP adaptatif a dû être réalisé et a permis la comparaison fine des déformations.

Ces deux approches ont ainsi permis d'aider au diagnostic structurel pour classer les risques et urgences d'interventions de stabilisation et sécurisation du chantier.



En suivant ce lien, vous pouvez télécharger la publication d'origine :

El Mustapha Mouaddib, Anthony Pamart, Marc Pierrot-Deseilligny, Daniel Girardeau-Montaut. 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage*, 2023.

## Le corpus mobilier, une question d'hétérogénéité

L'ensemble du corpus mobilier récupéré après l'incendie de Notre-Dame représente des milliers d'artefacts (pièces de bois, objets en pierre et métal). Ils ont tous été documentés sur place, puis stockés dans des entrepôts aménagés pour travailler en toute sécurité malgré la pollution au plomb. Les stratégies déployées pour leur numérisation s'articulent autour de deux concepts complémentaires : l'harmonisation, afin de délivrer des collections numériques homogènes intégrées dans l'écosystème numérique NDame ; l'optimisation, pour gérer l'important flux de données, le temps, les ressources et le stockage.

La mise en pratique de ces notions s'appuie sur des dispositifs d'automatisation, logiciels et matériels, spécialement conçus pour répondre à la très grande hétérogénéité de ce corpus (taille, morphologie et matériau). Ainsi, plusieurs supports d'acquisition photogrammétriques automatiques ont été réalisés, et chacun d'entre eux intègre une description fine des métadonnées et des parodonnées afin de renforcer le potentiel de réexploitation de cette documentation nativement numérique. Ainsi, les informations techniques et contextuelles accompagnent les données brutes de leur capture jusqu'à leur curation.

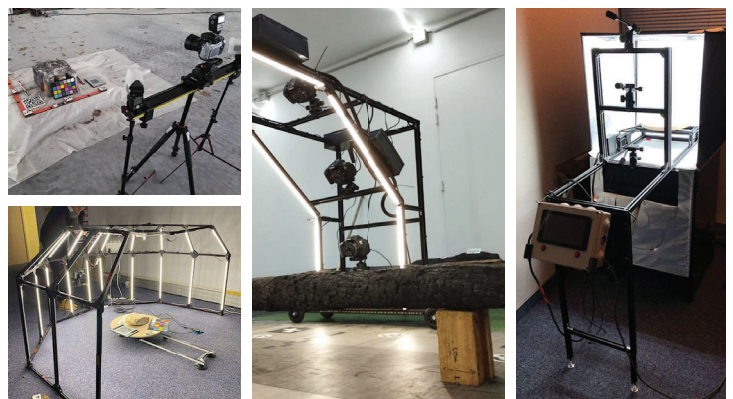


Figure 3. Instrumentation utilisée pour la numérisation des fragments récupérés après l'incendie.

Crédits: Anthony Pamart, MAP ; Florent Comte, MAP ; Eloi Gattet, Mercurio Imaging

En suivant ce lien, vous pouvez télécharger la publication d'origine :



Florent Comte, Anthony Pamart, Kévin Réby, Livio De Luca. Strategies and Experiments for Massive 3D Digitalization of the Remains After the Notre-Dame de Paris' Fire. *10th International Workshop 3D-ARCH "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, Feb 2024, Sienna, Italy, pp.127-134.