



**HAL**  
open science

# Faire parler les claveaux effondrés de la cathédrale Notre-Dame de Paris

Anaïs Guillem, Antoine Gros, Livio De Luca

► **To cite this version:**

Anaïs Guillem, Antoine Gros, Livio De Luca. Faire parler les claveaux effondrés de la cathédrale Notre-Dame de Paris. *Humanistica* 2023, Association francophone des humanités numériques, Jun 2023, Genève, Suisse. hal-04106101

**HAL Id: hal-04106101**

**<https://hal.science/hal-04106101v1>**

Submitted on 25 May 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

# Faire parler les claveaux effondrés de la cathédrale Notre-Dame de Paris : un récit fondé sur le web sémantique et les *Linked Open Data*

Anaïs Guillem, Antoine Gros, Livio DeLuca

UMR CNRS/MC 3495 MAP

Modèles et Simulations pour l'Architecture et le Patrimoine

13402, Marseille, France

anais.guillem@map.cnrs.fr

antoine.gros@map.cnrs.fr

livio.deluca@map.cnrs.fr

## Résumé

L'histoire de la restauration de Notre-Dame de Paris est généralement racontée selon les points de vue des différents acteurs : les tailleurs de pierre, les conservateurs, les architectes. Cette contribution propose d'inverser la perspective du récit et de se placer depuis le point de vue de deux claveaux issus de l'arc doubleau démoli par l'incendie. Ainsi, le récit biographique de deux claveaux est présenté dans toute la singularité de leur trajectoire : en élévation, en chute, enfoui sous les déblais, nettoyé, dépollué, numérisé, abstrait dans un inventaire, étudié et observé, annoté et identifié sur des images, restitué, retailé, carotté, restauré, etc. Les objets sont replacés au centre du récit, en tant qu'acteurs à part entière de l'histoire de Notre-Dame. Ce travail s'inscrit dans la continuité théorique d'assemblage social (DeLanda), de l'Object-Oriented Ontology (Harman), de l'Acteur-Réseau-Théorie (Latour) et l'approche biographique en matérialité culturelle (Kopytoff). Il s'en distingue par la spécificité de ces trajectoires, tantôt fluctuantes par leur position dans l'espace ou dans le temps, tantôt intermittentes dans leurs représentations physiques et numériques. Le récit non-linéaire résultant de ces trajectoires favorise l'utilisation des méthodes issues des sciences de l'information, notamment le mapping, la représentation conceptuelle et l'enrichissement de métadonnées. En retissant les liens entre des jeux de données hétérogènes et imperméables, la trame narrative prend alors la forme de visualisations en graphe de requêtes pour des Linked Open Data (LOD). Les liens sémantiques sont retracés pour reconstituer l'histoire du claveau à partir de ses données.

## 1 Contexte et problème

La restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris est généralement racontée selon les points de vue des différents acteurs comme les tailleurs de pierre, les conservateurs, les archéologues ou les architectes (Collectif et al., 2022). Cette contribu-

tion propose d'inverser la perspective du récit pour se placer du point de vue de deux des claveaux issus de l'arc doubleau F29-30 de la nef [Figure 1], démoli par l'incendie de 2019 [Figure 2]. C'est grâce à un récit biographique des claveaux en tant qu'artefacts que l'on peut comprendre toute la singularité et la complexité de leurs trajectoires : s'ils sont tous confondus dans la voûte avant l'incendie, leur chute les dissocie et les individualise. Ils passent ensuite par des étapes variées et dans des séquences différentes. Ils sont tantôt enfouis sous les déblais, nettoyés, dépollués, numérisés, inventoriés, stockés, étudiés et observés, annotés et identifiés sur des images, restitués, retailés, carottés, restaurés, etc.

Les claveaux racontent leur histoire grâce à leurs données et métadonnées. Au long de cette étude, on démontre la continuité entre une trame narrative construite avec des moyens traditionnels, c'est-à-dire un texte annoté écrit en langage naturel, et les analyses rendues possibles par les sciences de l'information et le web sémantique. La méthode présentée s'appuie sur la représentation sémantique et la transformation de données. Des points de contact et de recouvrement émergent lors de la mise en commun des vocabulaires, concepts, processus et méthodologies venant des différents prismes disciplinaires. Ainsi, la logique d'intégration de données recentre autour de l'objet d'étude pour raconter son histoire.

### 1.1 Approche méthodologique

Plusieurs approches théoriques accompagnent la modélisation des données numériques autour de l'objet physique. Ce travail s'inscrit alors dans la continuité théorique d'assemblage social (DeLanda, 2006), de l'Object-Oriented Ontology (Harman, 2018) de la théorie Acteur-Réseau (Latour, 2007) et de l'approche biographique en matérialité culturelle (Kopytoff, 1986). L'objet devient un acteur de premier ordre dans les relations so-



FIGURE 1 – Voûte de la nef NF3336 (photo Bruno Phalip, GT Pierre)

ciales, plutôt qu'un élément secondaire ou qu'un réceptacle passif de l'action. C'est ainsi que le monument et ses parties sont pensés comme des acteurs dans les événements et actions auxquels ils prennent part.

Sur ces bases théoriques, nous présentons une expérimentation prenant pour cas d'étude la trajectoire de deux claveaux [Figure 2] faisant partie de l'arc doubleau F29-30 effondré [Figure 1] : (a) l'un (claveau N1A) est en excellent état et (b) l'autre (claveau N320) présente des perforations pour la prise d'échantillons matériau [Figure 2]. Nous nous intéressons aux traces laissées par les interactions humaines avec l'objet. Le claveau est dans un premier temps un élément constructif de l'arc et de la voûte comme en témoignent les traces des outils lors de la construction. Dans un second temps, après l'effondrement de la voûte, le claveau change de statut et devient un objet de collection archéologique. Il est ainsi analysé, inventorié, mesuré (etc.) par différents spécialistes du patrimoine culturel (Baillieul et al., 2022; Dabat et al., 2021a,b; Moulis et al., 2020, 2022). Prises individuellement, les

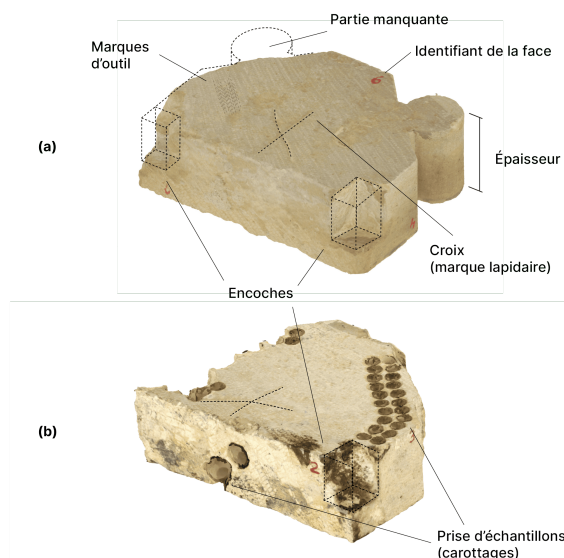


FIGURE 2 – Claveaux N1A et N320

analyses ne permettent pas d'établir une hypothèse de restitution de la voûte. C'est dans leurs relations qu'il est possible de tisser le travail interdisciplinaire de restitution (Gros et al., 2023). Cette expérimentation consiste ainsi à retracer et combiner la provenance des objets-claveaux et la provenance des données de manière sémantique en rétablissant les liens entre les données (Guillem and Lercari, 2022).

La métaphore du récit est utile pour parler des processus de provenance des données : dans (Tzitzikas et al., 2018), le conte de Cendrillon est réinvesti de manière contemporaine. La pantoufle de verre est remplacée par une clé USB. Le conte sert à explorer différents aspects de provenance des données. De même que dans Cendrillon, le récit s'articule autour de la recherche de la propriétaire de la pantoufle, (Tzitzikas et al., 2018) adaptent le même thème avec la quête de l'identité de la propriétaire de la clé USB à partir des métadonnées des fichiers présents sur la clé. L'élément narratif de la pantoufle de verre comme celle de la clé USB servent d'opportunité à retracer la provenance (provenance de l'objet ou des données). La médiation par le conte de Cendrillon permet de comprendre ainsi la continuité entre la provenance de l'objet réel et de l'objet numérique.

Ainsi le *mapping* de données (alignement ou appariement) peut être défini comme une pratique d'explicitation de la trame narrative des données numériques. A cette fin, les méthodes issues des sciences de l'information et d'ingénierie des

---

## Quelles sont les activités dans lesquelles le claveau identifié par l'identifiant N1A a été impliqué ?

---

```
PREFIX crm: <http://www.cidoc-crm.org/cidoc-crm/>
SELECT ?claveau ?activity
WHERE {
  ?activity a crm:E5_Event .
  ?claveau a crm:E22_Human-Made_Object .
  ?claveau crm:P1_is_identified_by/crm:P190_has_symbolic_content "N1A" .
  ?activity ?p ?claveau .
}
```

---

TABLEAU 1 – Requête en langage naturel et SPARQL pour la comparaison des trajectoires du claveau N1A

connaissances fournissent un outillage conceptuel et technique, à savoir la représentation conceptuelle et ontologique et l'enrichissement de métadonnées. Ces pratiques sont encadrées par l'utilisation d'ontologies formelles contenant les concepts et les propriétés pour l'intégration des données liées aux objets-acteurs. Le processus de mapping s'apparente ainsi à l'explicitation et structuration de la trame narrative des données considérées. Le contenu sémantique des connaissances est ainsi clarifié et cadré, au prix d'une formalisation qui permet l'interopérabilité des données alignées.

En pratique, il s'agit de transformer les données relatives aux acteurs-objets (claveaux) en *Linked Open Data* (LOD). Cette transformation effectuée sur les jeux de données des claveaux s'appuie sur la famille d'ontologies formelles du CIDOC CRM dont le champ d'application s'étend aux disciplines des sciences du patrimoine (Bruseker et al., 2017). Le CIDOC CRM est une ontologie de haut niveau qui permet l'intégration de données hétérogènes du patrimoine culturel (Le Boeuf, 2013). D'un point de vue technique, la transformation en LOD est conjointe à l'utilisation des langages formels standardisés du web sémantique : les données transformées sont rédigées en *Resource Description Framework* (RDF), les ontologies sont énoncées en *Web Ontology Language* (OWL), les requêtes sont formulées dans un graphe de données en *SPARQL Protocol and RDF Query Language* (SPARQL).

## 2 Résultats

A première vue, les jeux de données initiaux sont aussi hétérogènes qu'imperméables. Le mapping partiel des claveaux N1A et N320 [Figure 3] illustre les liens sémantiques entre les claveaux et deux événements cruciaux, leur différenciation à travers la chute de l'arc et leur identification lors

de l'inventaire avec le CIDOC CRM. Ce mapping correspond au schéma conceptuel qui permet l'intégration des données : il indique les classes et propriétés utilisées pour expliciter les liens entre les données. Ces données LOD sont consultables par des requêtes SPARQL qui mettent en évidence la trajectoire des claveaux, accordément à la complexité des relations tissées [Table 1]. La requête suivante en SPARQL cherche les événements dans lesquels les claveaux ont participé.

## 3 Conclusion

Pour conclure, l'expérimentation présentée a montré le processus de transformation d'un jeu de données (claveaux) en données sémantiques (Linked Open Data). Dans ce contexte, lier les données, c'est structurer et mobiliser un récit des données. L'étape de mapping avec l'ontologie formelle (CIDOC CRM) est centrale dans la transformation des données car elle explicite les liens sémantiques entre les données. La documentation, explication et documentation des mappings eux-mêmes est nécessaire à l'utilisation future des données transformées. La formulation de requêtes SPARQL est incontournable en parallèle à l'étape de modélisation conceptuelle. Les requêtes correspondent aux questions scientifiques que les chercheurs souhaitent poser. Leur formulation sert de guide en termes de granularité pour la modélisation conceptuelle et de vérification de la consistance de la base de connaissance. Dans cet article, nous avons choisi d'adopter une perspective narrative centrée sur le claveau-acteur et les activités auxquelles il prend part. Au niveau méthodologique, le jeu de données montre comment utiliser la modélisation de données orientée événement caractéristique du CIDOC CRM et le potentiel en termes d'intégration que cela représente.

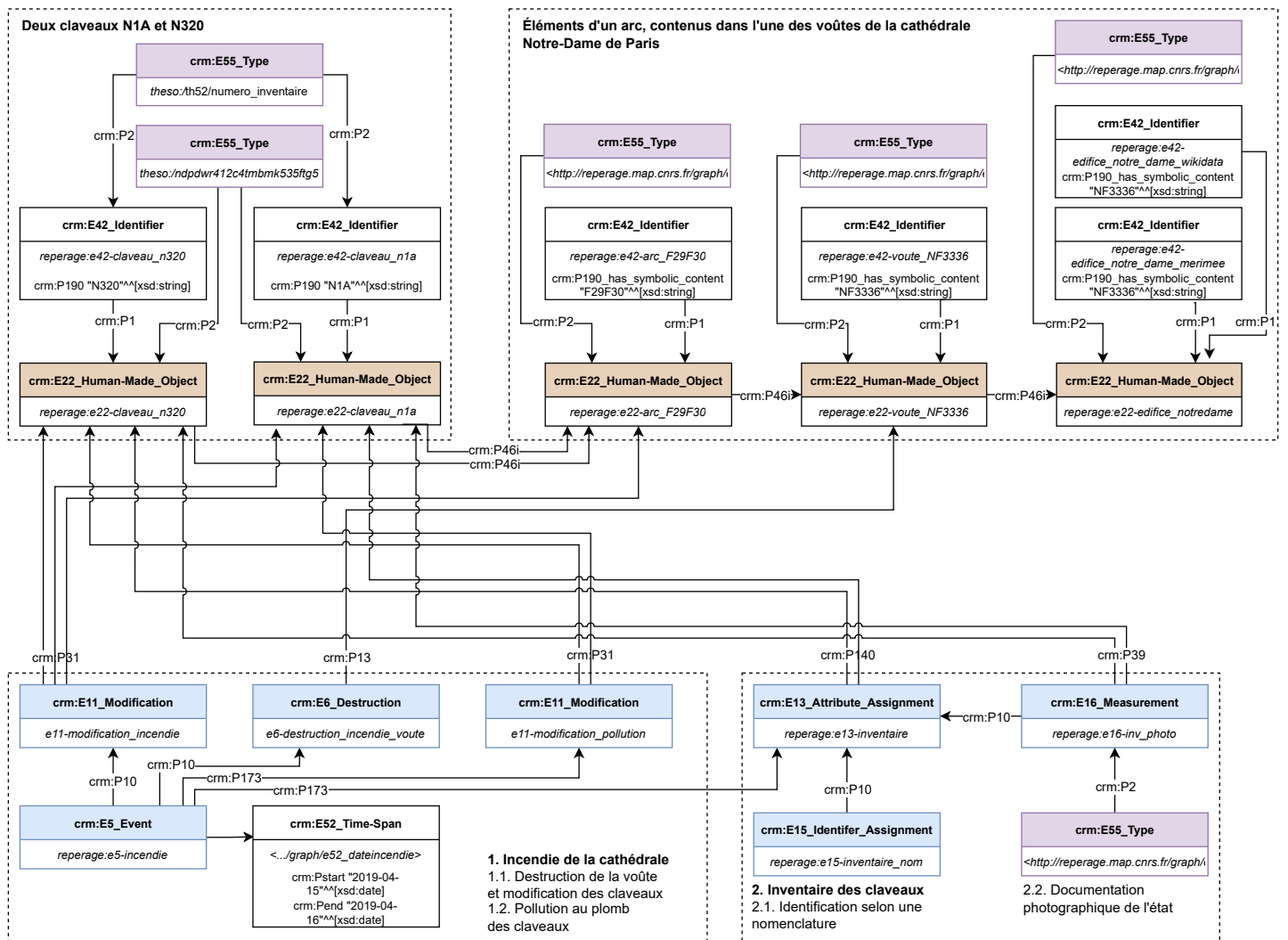


FIGURE 3 – extrait du diagramme de mapping avec le CIDOC CRM des claveaux N1A et N320

Ainsi, les claveaux racontent leur histoire grâce à leurs données et métadonnées. Grâce aux requêtes-questions, il est possible de construire un nouveau récit numérique en adoptant différentes perspectives. Le mapping de données revient à expliciter une sorte de trame narrative des données. L'outillage technique conjoint au LOD, pour la manipulation d'ontologies notamment, permet une précision et une expressivité suffisante pour transcrire une trame narrative. L'espace informationnel du web sémantique se fonde sur cette trame narrative qui rend possible la circulation des données entre humain et machine. L'intégration des données vue comme une médiation par une trame narrative démontre l'hybridation de la question de provenance entre matérialité et numérique dans l'ensemble informationnel.

## Remerciements

Ce travail a été soutenu par le projet REPERAGE et financé par la Fondation des Sciences et du Patrimoine, France. Les auteurs souhaitent remercier : les architectes en chef des monuments historiques, Philippe Villeneuve, Pascal Prunet et Rémi Fromont, l'Établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris et les conservateurs du patrimoine. Les auteurs remercient les nombreux collègues et partenaires scientifiques : tout particulièrement, les groupes de travail Pierre et Données Numériques du chantier scientifique de Notre-Dame de Paris, Olivier Malavergne, Lise Leroux, Thierry Zimmer, Véronique Vergès-Belmin du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Dorothée Chaoui-Derieux du Service Régional d'Archéologie de la Direction Régionale des

Affaires Culturelles d'Île de France, Cédric Moulis du HisCant-MA, Elise Baillieul de l'IRHiS, Bruno Phalip du CHEC-UCA, Violette Abergel du MAP-ARIA, et Marco Callieri à VCL du CNR-ISTI.

## References

Elise Baillieul, Lise Leroux, and Dorothée Chaoui-Derieux. 2022. Reconstructing the Fallen Arch of Notre-Dame. New Insights into Gothic Vault-Building. *Journal of Cultural Heritage*, (Special Issue : Notre-Dame de Paris : a multidisciplinary scientific site).

George Bruseker, Nicola Carboni, and Anaïs Guillem. 2017. *Cultural Heritage Data Management: The Role of Formal Ontology and CIDOC CRM*. pages 93–131.

Collectif, Philippe DILLMANN, Pascal Liévaux, Aline MAGNIEN, Martine Regert, and Patrick Boucheron. 2022. *Notre-Dame de Paris, la science à l'œuvre*, illustrated édition edition. Cherche Midi, Paris.

Thomas Dabat, Jean-Didier Mertz, Lise Leroux, and Yannick Mélinge. 2021a. Cathédrale Notre-Dame. Voûtes effondrées, murs bahuts et pignons. Caractérisation des carottes de pierre prélevées après l'incendie du 15 avril 2019 : Rapport final d'étude.

Thomas Dabat, Jean-Didier Mertz, Lise Leroux, and Yannick Mélinge. 2021b. PARIS 4e (Paris, 75). Cathédrale Notre-Dame, MH liste de 1862. Voûtes effondrées, caractérisation des carottes de pierre prélevées après l'incendie du 15 avril 2019.

Manuel DeLanda. 2006. *A New Philosophy of Society : Assemblage Theory and Social Complexity*, annotated edition edition. Continuum, London ; New York.

Antoine Gros, Anaïs Guillem, Livio De Luca, Élise Baillieul, Benoit Duvocelle, Olivier Malavergne, Lise Leroux, and Thierry Zimmer. 2023. *Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris*. *Scientific Reports*, 13(1) :1–12.

Anaïs Guillem and Nicola Lercari. 2022. *Global Heritage, Knowledge Provenance, and Digital Preservation: Defining a Critical Approach*. In Nicola Lercari, Willeke Wendrich, Benjamin W. Porter, Margie M. Burton, and Thomas E. Levy, editors, *Preserving Cultural Heritage in the Digital Age : Sending Out an S.O.S.*, pages 26–41. Equinox Publishing Ltd.

Graham Harman. 2018. *Object-Oriented Ontology : A New Theory of Everything*, 1er édition edition. Pelican, London.

Igor Kopytoff. 1986. The cultural biography of things : Commoditization as process. *The social life of things : Commodities in cultural perspective*, 68 :70–73.

Bruno Latour. 2007. *Reassembling the Social : An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oup Oxford.

Patrick Le Boeuf. 2013. Le modèle conceptuel de référence du CIDOC : De la sémantique des inventaires aux musées en dialogue. *Culture & musées*, 22(1) :89–111.

Cédric Moulis, Bruno Phalip, and Élise Baillieul. 2020. Rapport intermédiaire sur les claveaux de l'arc doubleau effondré de la nef de Notre-Dame de Paris.

Cédric Moulis, Arnaud Ybert, and Bruno Phalip. 2022. Archaeological analysis of the voussoirs of the collapsed transverse arch of the nave. First results and new hypotheses. *Journal of Cultural Heritage*, (Special Issue : Notre-Dame de Paris : a multidisciplinary scientific site.).

Yannis Tzitzikas, Yannis Marketakis, and Heraklion Vassilika Vouton. 2018. *Cinderella's Stick, A Fairy Tale for Digital Preservation*. Springer, Cham.