



---

Antoine Gros

Livio De Luca  
Frédéric Dubois  
Philippe Véron  
Kévin Jacquot

---

## TOWARD A DATA COMMONS FOR STRUCTURAL ASSESSMENT OF BUILT HERITAGE WORKS

---

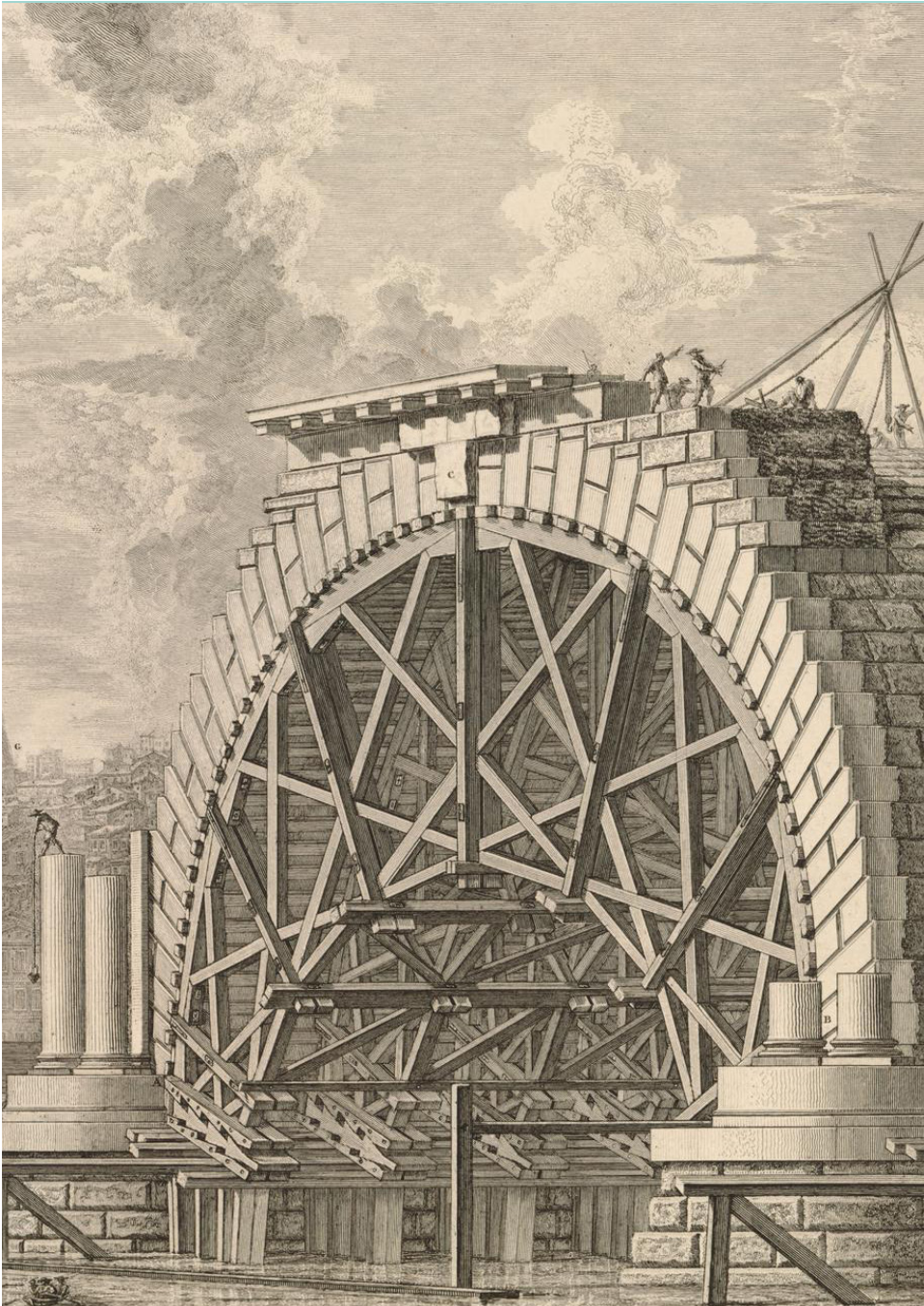
57th joint meeting of the CIDOC CRM SIG,  
Online, the 10th of october 2023

### MITI-Astragale

Antoine Gros (MAP/LMGC/LISPEN)

Livio de Luca (MAP/CNRS-MC), Frédéric Dubois  
(LMGC/CNRS-UM), Philippe Véron (LISPEN/  
Arts&Métiers) et Kévin Jacquot (MAP/CNRS-MC)





---

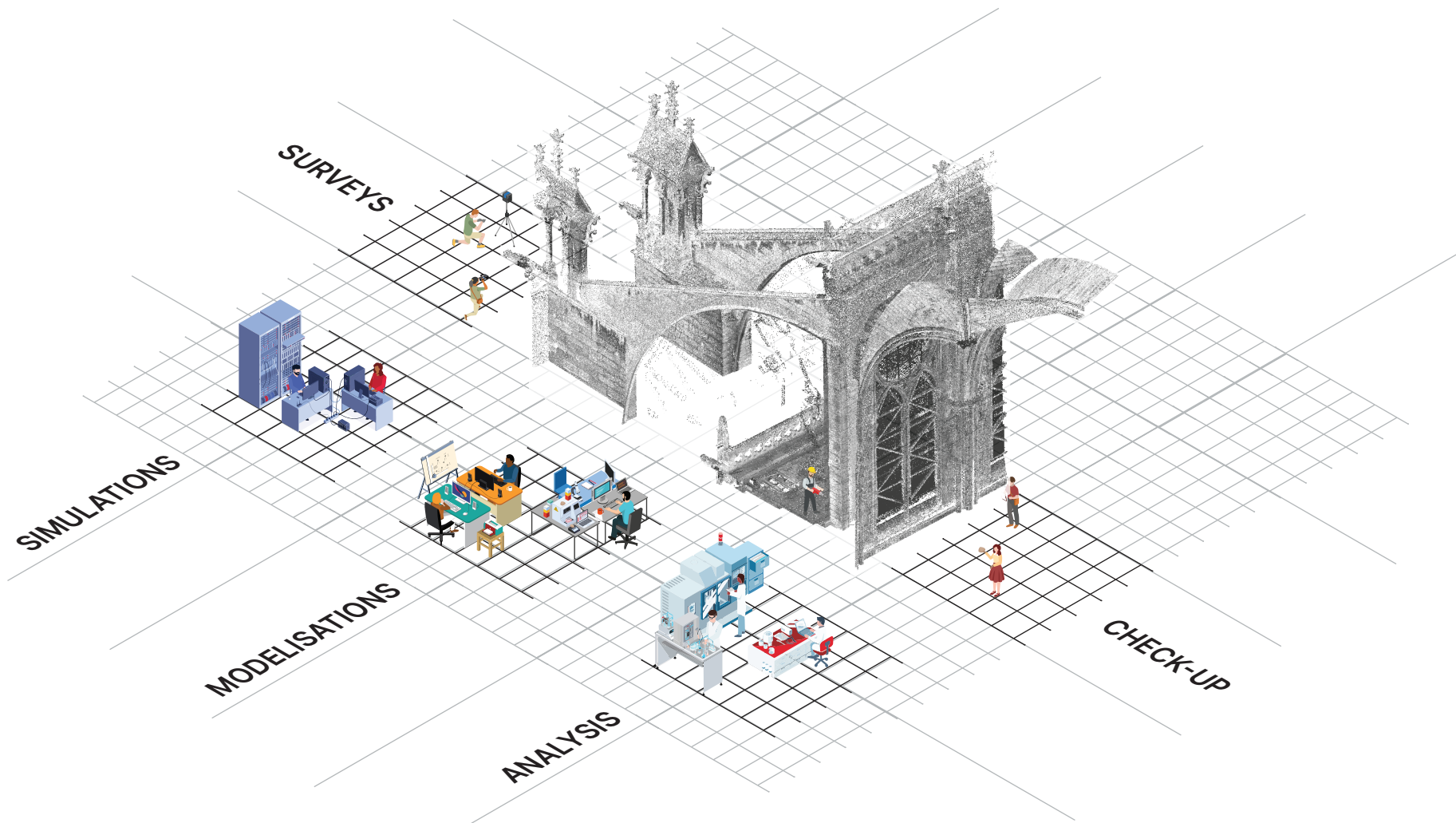
0.

---

## INTRODUCTION & PRESENTATION PLAN

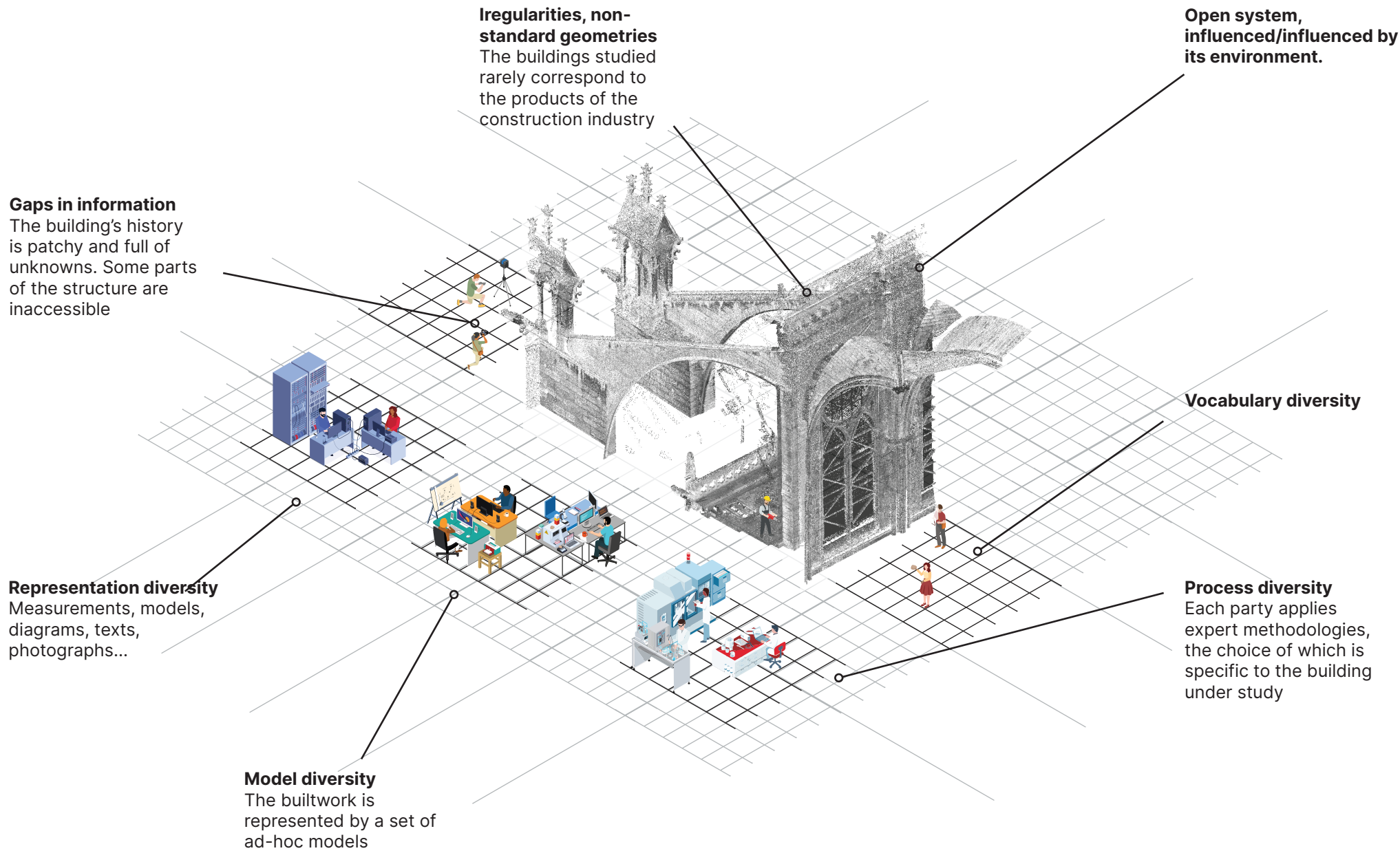
---

*View of the method of construction of the proposed new bridge at Blackfriars in London (Piranesi, 1766) [[@British Museum](#)]*



*Structural diagnosis and health assessment of a built work  
(A.Gros, 2023)*

**Abstract: context and state of the art**  
0. Introduction & Presentation plan



**Gaps in information**  
 The building's history is patchy and full of unknowns. Some parts of the structure are inaccessible

**Irregularities, non-standard geometries**  
 The buildings studied rarely correspond to the products of the construction industry

**Open system, influenced by its environment.**

**Representation diversity**  
 Measurements, models, diagrams, texts, photographs...

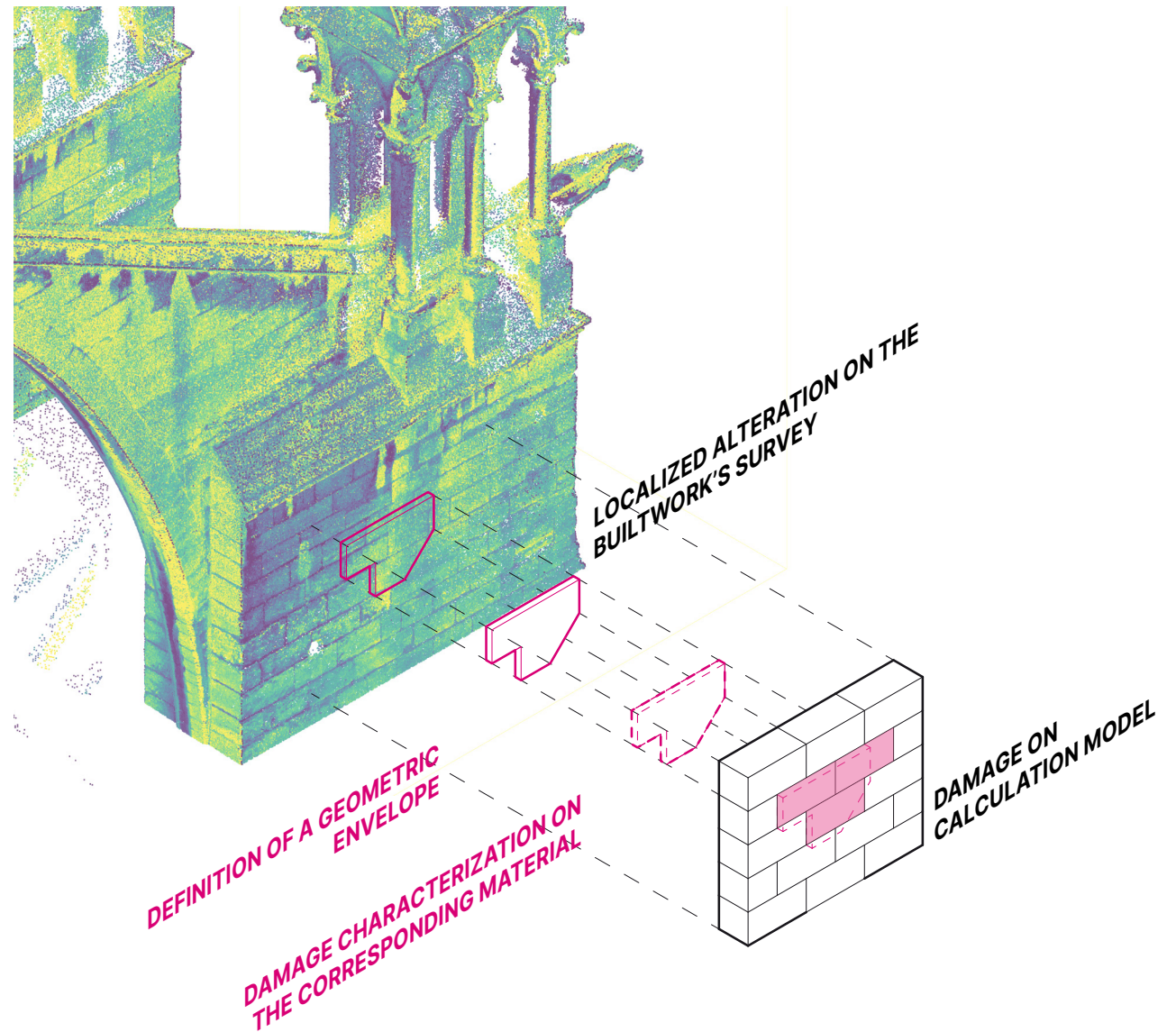
**Model diversity**  
 The builtwork is represented by a set of ad-hoc models

**Vocabulary diversity**

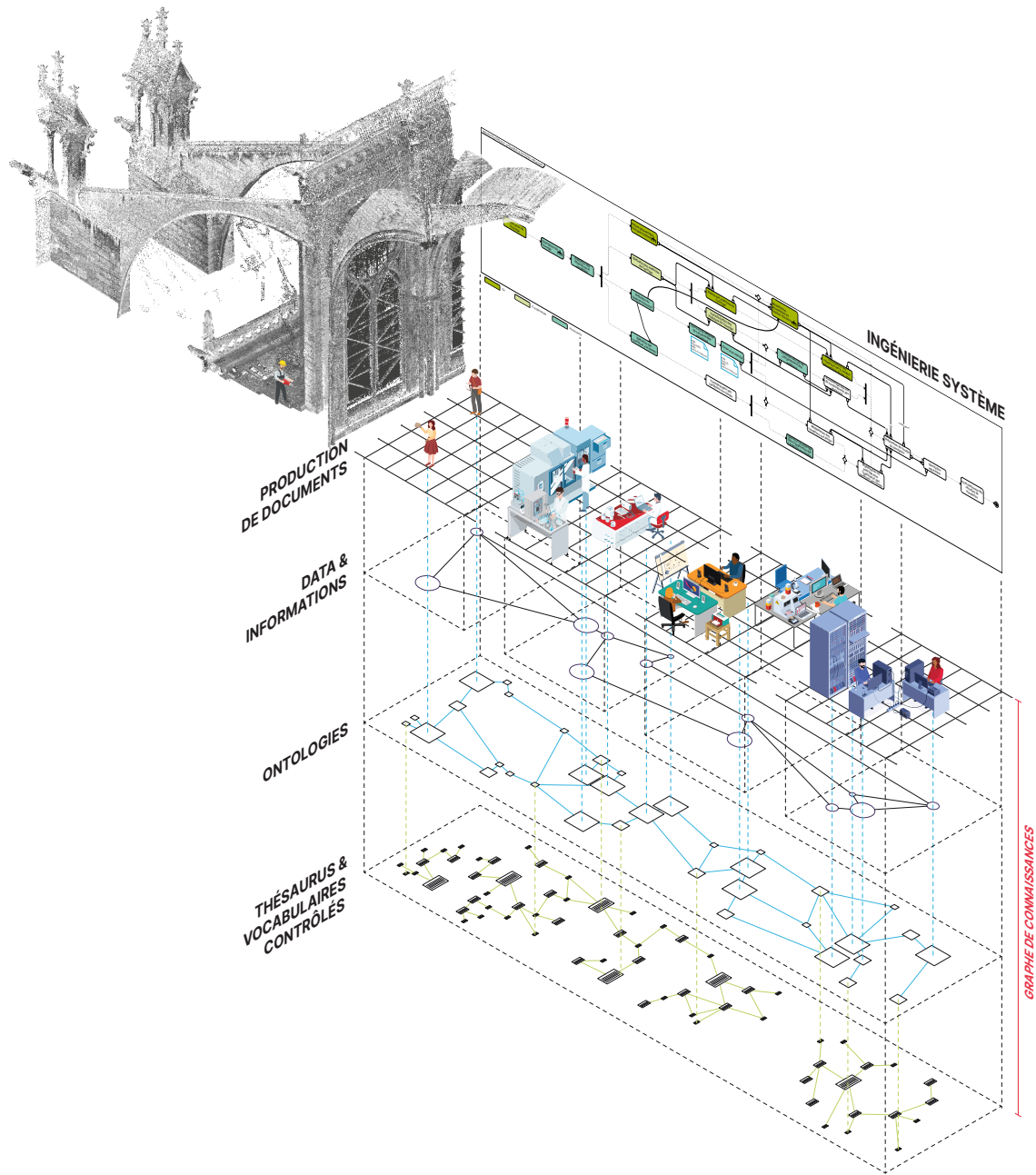
**Process diversity**  
 Each party applies expert methodologies, the choice of which is specific to the building under study

*Structural diagnosis and health assessment of a built work (A.Gros, 2023)*

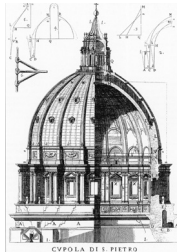
How can we identify, structure and enable manual and automated interaction between the data and knowledge produced during the structural diagnosis of a masonry built work ?



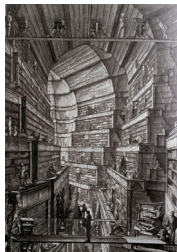
*Semantic distance between manipulated data and knowledge: the case from observed material alteration to modeled damage (A.Gros, 2023)*



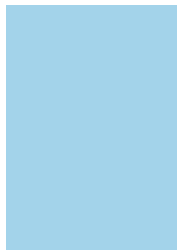
Millefeuille  
(A.Gros, 2023)



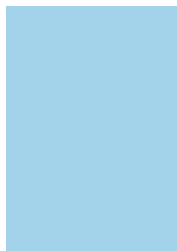
**I FROM STRUCTURAL DIAGNOSIS OF A BUILT STRUCTURE TO PROCESS MODELING**



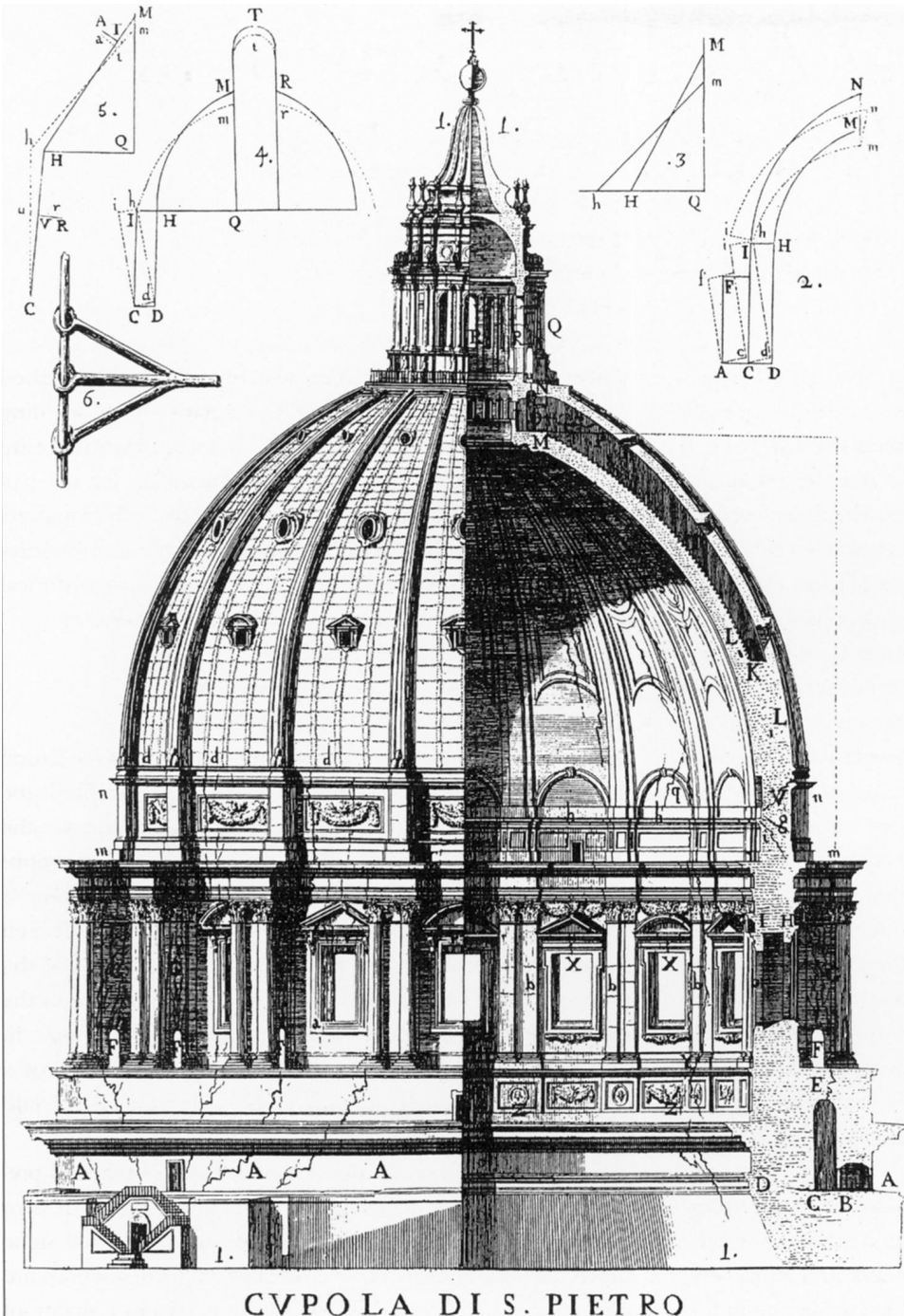
**II FROM MODELED PROCESSES TO KNOWLEDGE MODELING**



**III FROM KNOWLEDGE MODELING TO A DATA COMMONS**



**IV CONCLUSION**

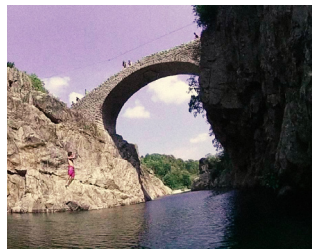


0.

## FROM STRUCTURAL DIAGNOSIS OF A BUILT STRUCTURE

Observation of cracking in the dome of St. Peter's in Rome in 1742. The sketches at the top of the page are based on the analytical model developed by Le Seur, Jacquier and Boscovitch.



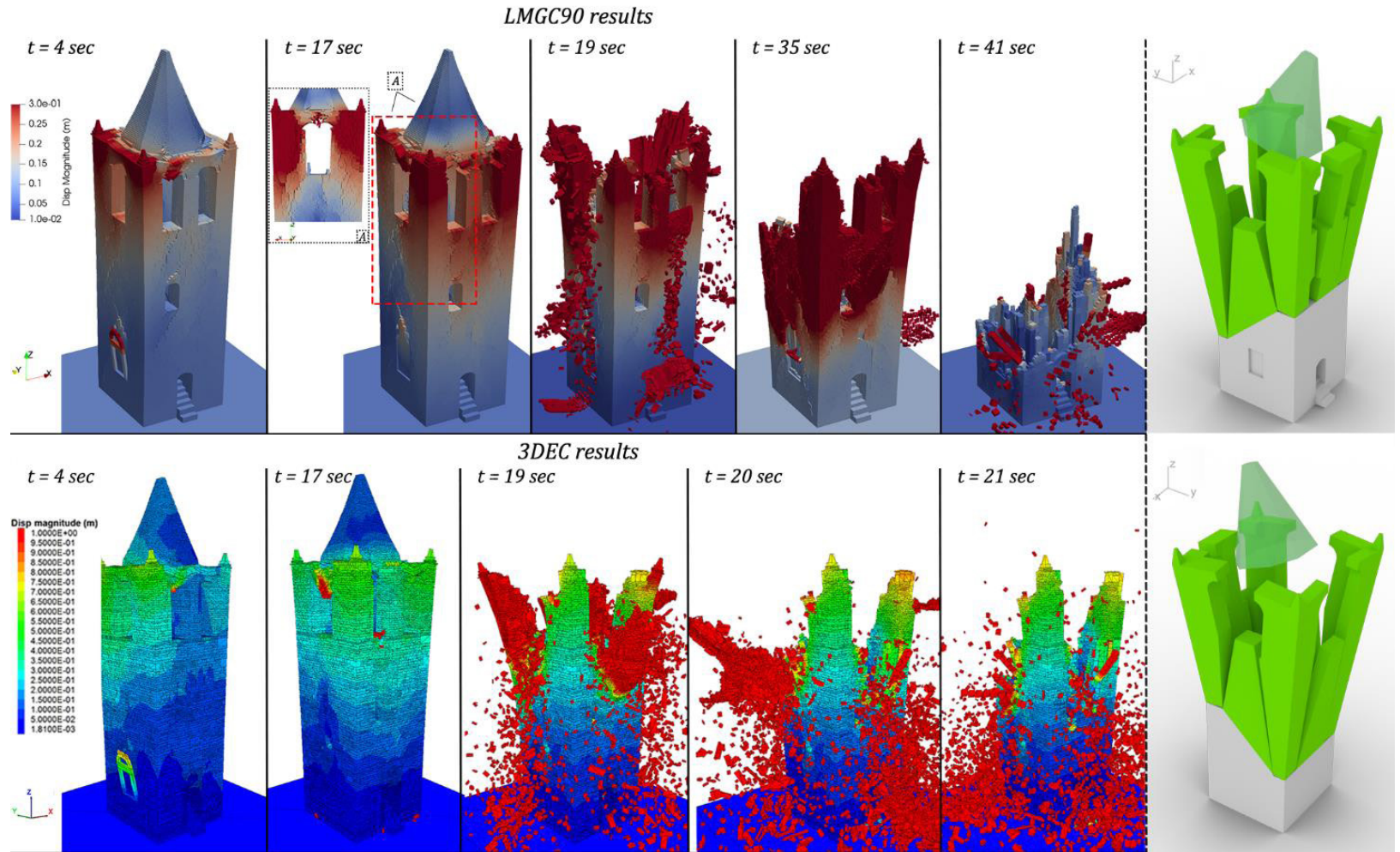


*Pont en maçonnerie sur la rue St Croix-Simon (Ponts&Chaussées, 1889) ; Usines Battlo à Barcelone (Anon, 19xx) ; Voûtes sexpartites à Notre-Dame de Paris post-incendie (C2RMF, 2019) ; Pont Fraissinet (A.Gros, 2021) ; Voûtes quadripartites à St Sophie (L.Haghe, 18xx) ; Isométrie du fort l'Écluse de Léaz (A.Gros, 2022)*

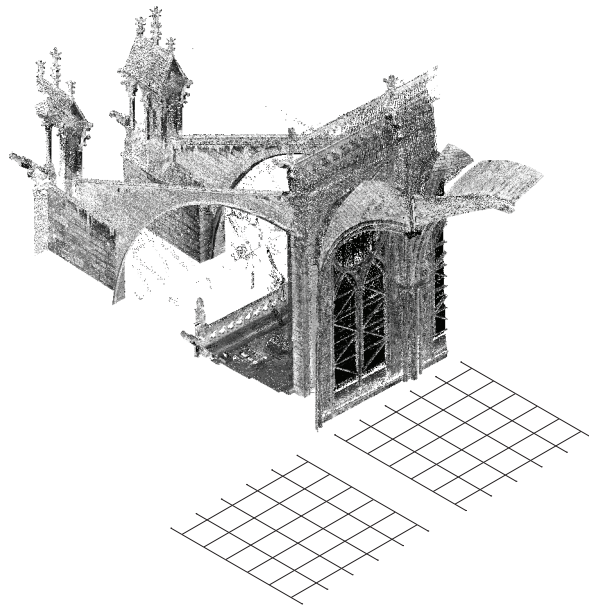


Structural diagnosis of a masonry built work, generalities  
0. From structural diagnosis of a built structure

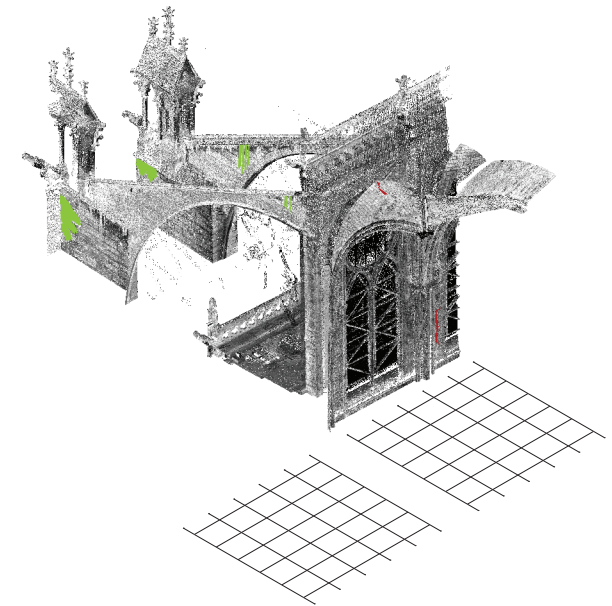
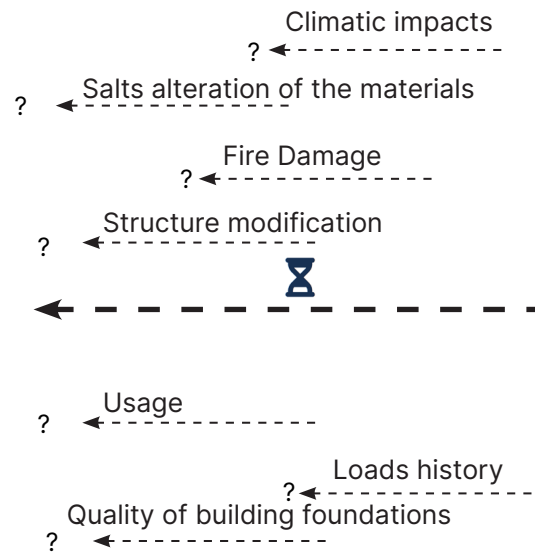
Epicentres station - Multi-leaf masonry, Blocks = 31230,  $\mu=0.3$ ,  $\mu=0.5$ ,  $\mu=0.9$



Mechanical simulation of the Rotella tower (Ascoli Piceno, Italy) during an earthquake (Ferrante et al., 2021), using the discrete element method and the LMG90 solver (Dubois et al., 2011)



**INITIAL STATE**



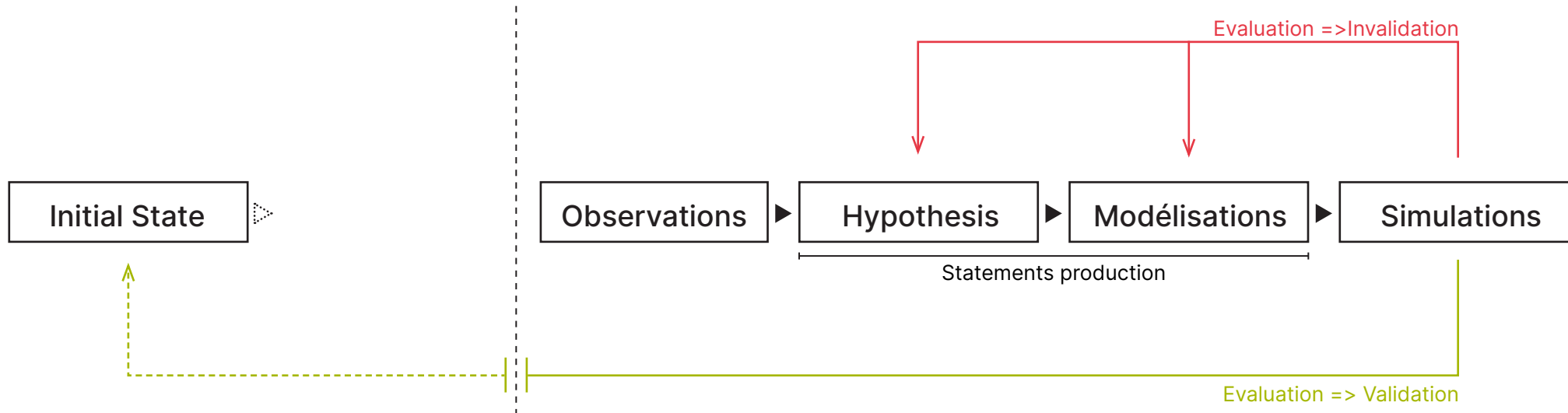
**ACTUAL STATE**

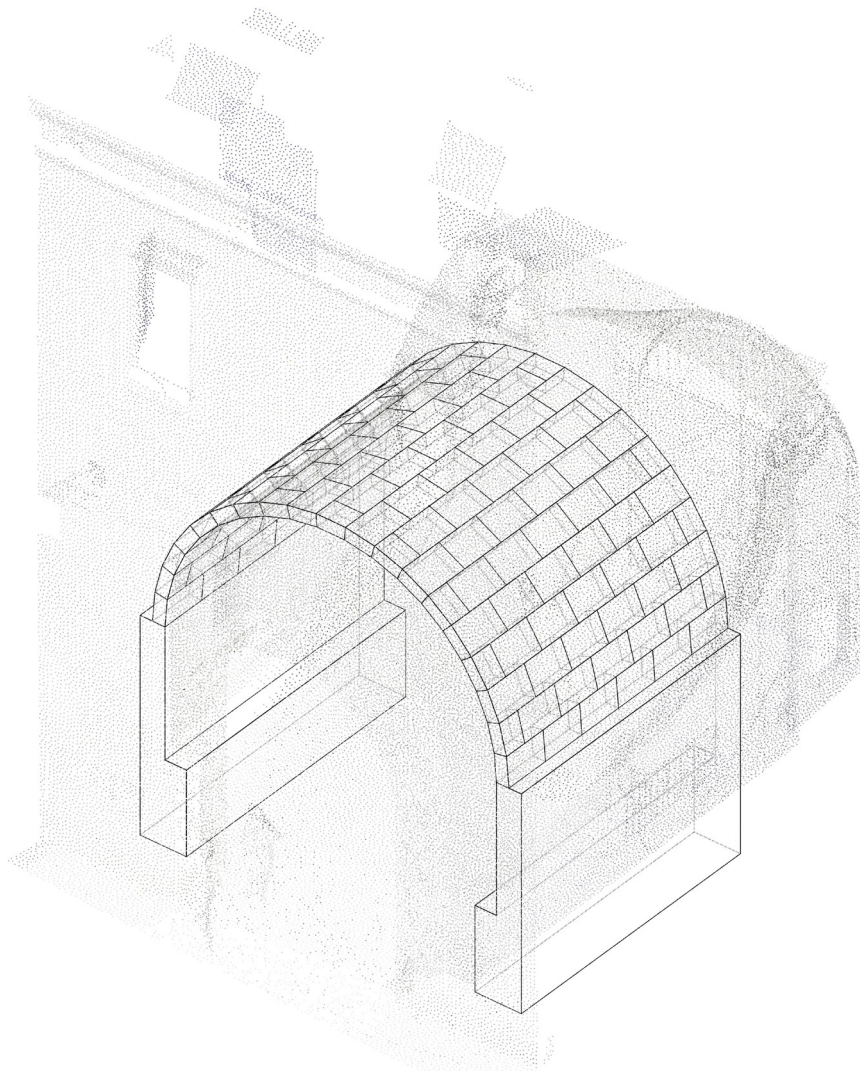
*"[To comprehend the present,] to foresee the future, it is necessary to know the past, for the events of this world have at all times links to the times that preceded them."*  
(Machiavel, 1532)

*General and specific knowledge of the structure under study, inferring the initial state of its structure*  
(Gros, 2023)

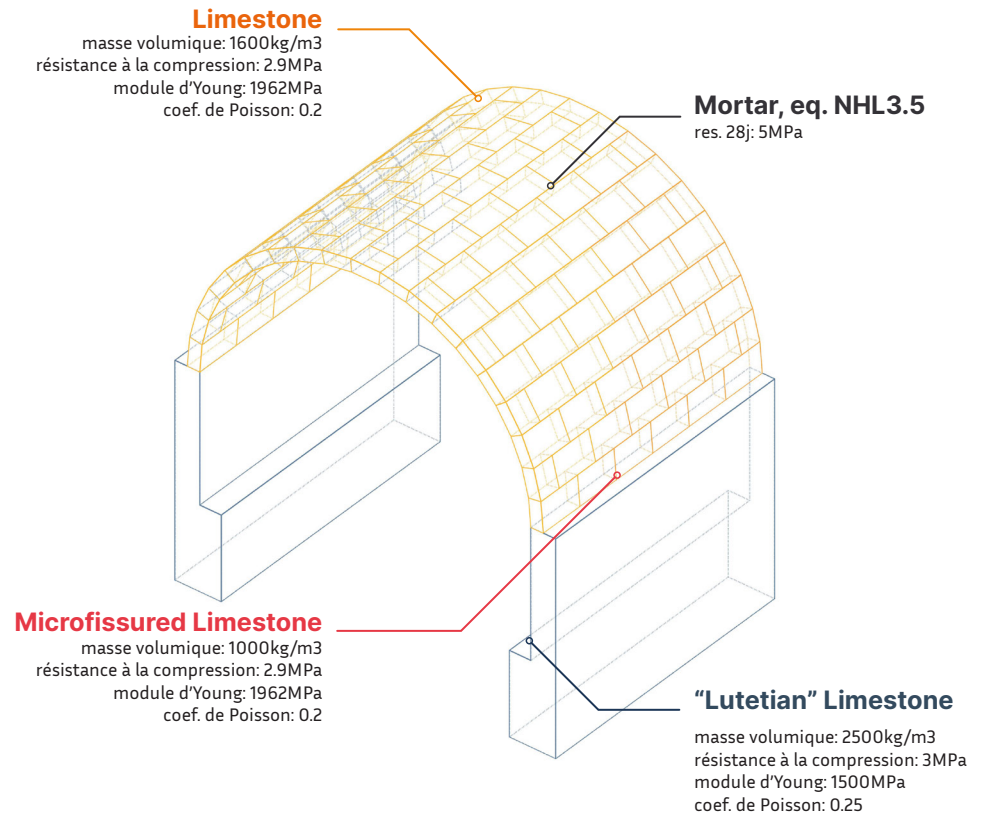
**Mechanical Simulation, an hypothesis of the initial state to the actual**

0. From structural diagnosis of a built structure



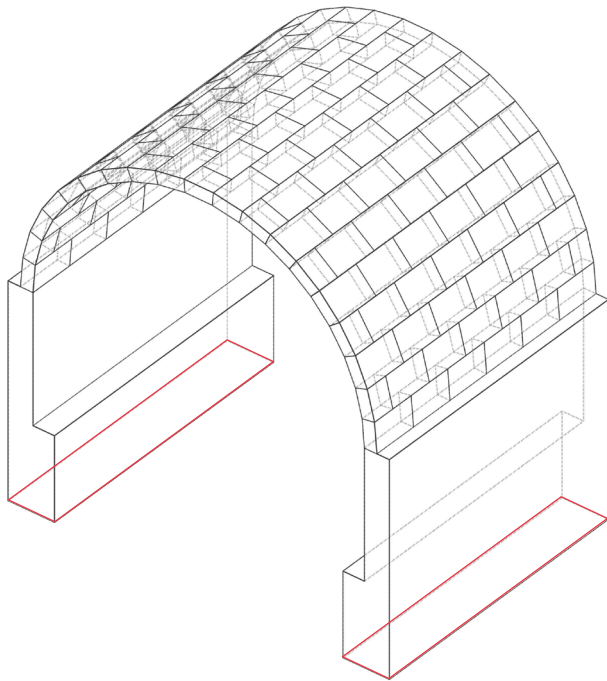


**BUILTWORK GEOMETRY**

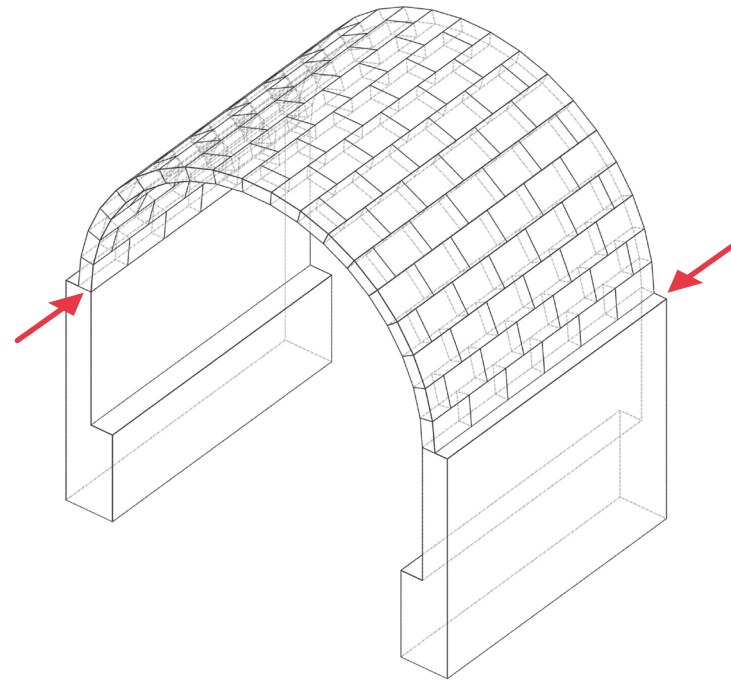


**MATERIAL**

*Modeling the barrel vault at the entrance to Fort l'Écluse de Léaz, geometry and materials (A. Gros, 2023)*



**SUPPORTS**



**LOADS**

*Modeling the barrel vault at the entrance to Fort l'Écluse de Léaz, boundary conditions (A. Gros, 2023)*

**A**

System analysis as a complex system.  
Systems engineering. MBSE.

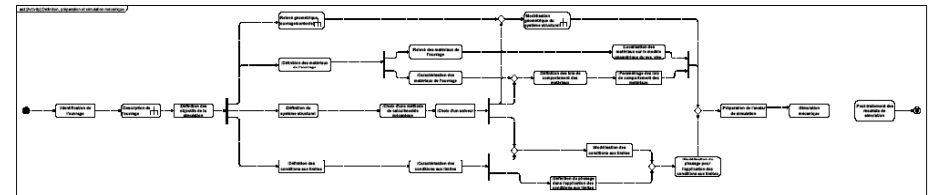
How can we define and identify the processes involved in the structural diagnosis of a building? Their synchronicity or asynchronicity? The moments of document production and the dependencies of these between actors, independently of their teleology?

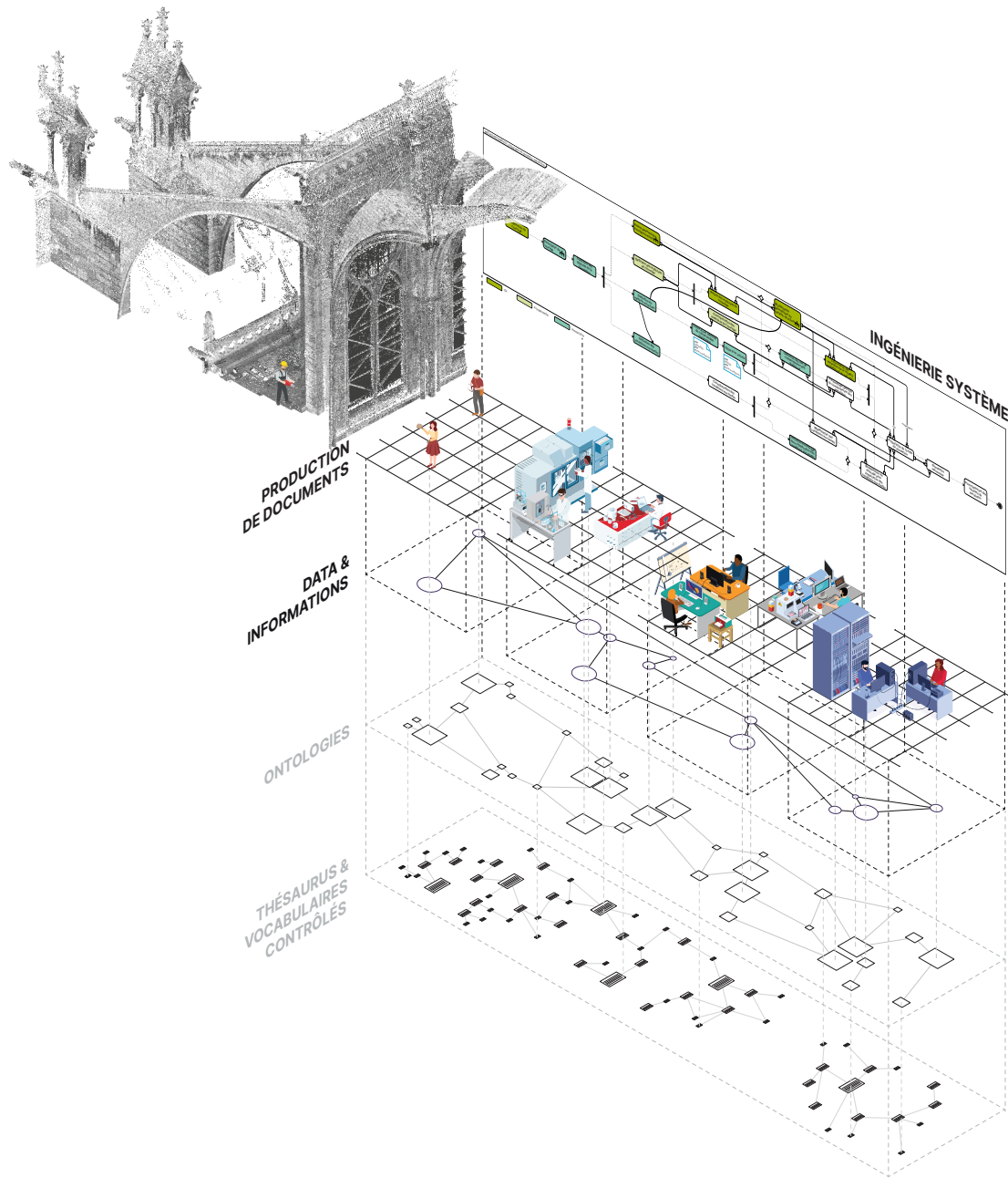
**B**

Theme analysis and development.  
Semiological methods.

How can we define and identify cross-cutting themes for all players when applying their methods? How can we trace privileged links between data and knowledge, as well as between different works or models?

## Results



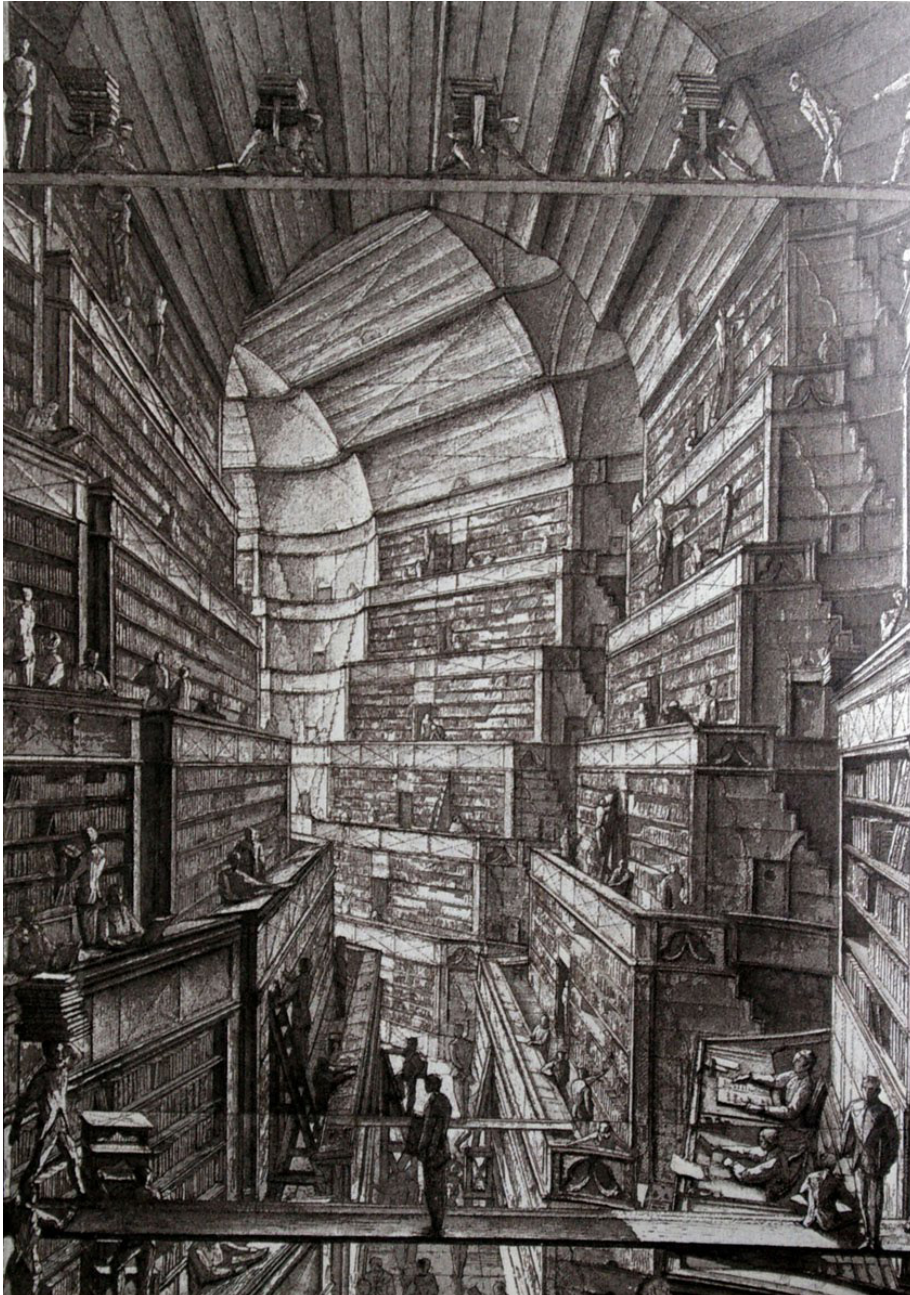


Millefeuille  
(A.Gros, 2023)

**Conclusion de la partie**

0. From structural diagnosis of a built structure





---

II.

**FROM MODELED PROCESSES  
TO KNOWLEDGE MODELING**

---

(E. Demazières, 19xx)

## **Semantic Web**

- + a data architecture based on the conceptual, technical, ethical and political aspects of data;
- + an artifact derived from the World Wide Web for information sharing and interoperability;
- + a research domain ;

## **Ontologies**

An ontology is a formal specification of a shared conceptualization (Gruber, 1995).

## **Linked Open Data**

Linked data is data linked to other data, so that a person or a machine can explore the network of this data. In this way, linked data can always be accessed by others (T.B.Lee, 2006).

## **Knowledge Graph**

Generic term for a knowledge base in which data is structured as a network.

**Material alteration and damage**  
Local or global affection of the structure deduced from its geometry or the state of the material

**Built work**  
Auscultation of a building at different scales

**Information Spatialization**  
A great deal of information is restricted to certain areas of space

**Material**  
Generic or specific, understood at different levels as a category, a model, a set of properties

**Event sequence**  
Several event rearrangements create different sequences

**Hypothetico-deductive method**  
**Experimental method**  
The intersection of several scientific disciplines according to a classic epistemological progression

## CIDOC CRM

Développée initialement pour l'intégration des données GLAM, cette ontologie de base a pour vocation :

- + l'intégration de données hétérogènes
- + "d'accommoder des opinions alternatives et des informations incomplètes"

## CRMgeo/GeoSPARQL

L'extension CRM Geoinformation, préfixée CRMgeo, étend les capacités du modèle CRMcore pour la gestion des données spatialisées. Bien que CRMgeo soit orientée vers les Systèmes d'Information Géographique par sa jointure avec GeoSPARQL, nous avons explicité sa capacité à gérer tant les lieux définis par leur géométrie 3D que par des relations topologiques dans un bâtiment (Guillem et al., 2023)

## CRMsci

L'extension CRM Science, préfixée CRMsci, étend le modèle CRMcore aux prérogatives scientifiques ainsi qu'aux méthodes employées. Nous avons montré la capacité de CRMsci à modéliser les processus liés au GC et des séquences d'événements conjoints aux sciences de la conservation comme de l'histoire (Gros et al., 2023) (Guillem et al., 2023)

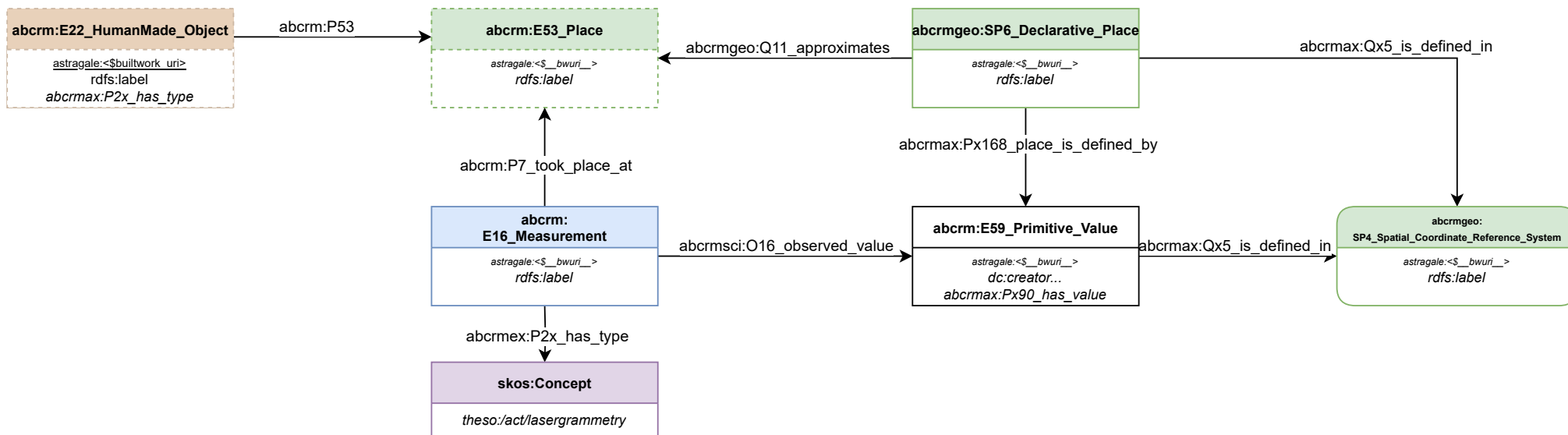
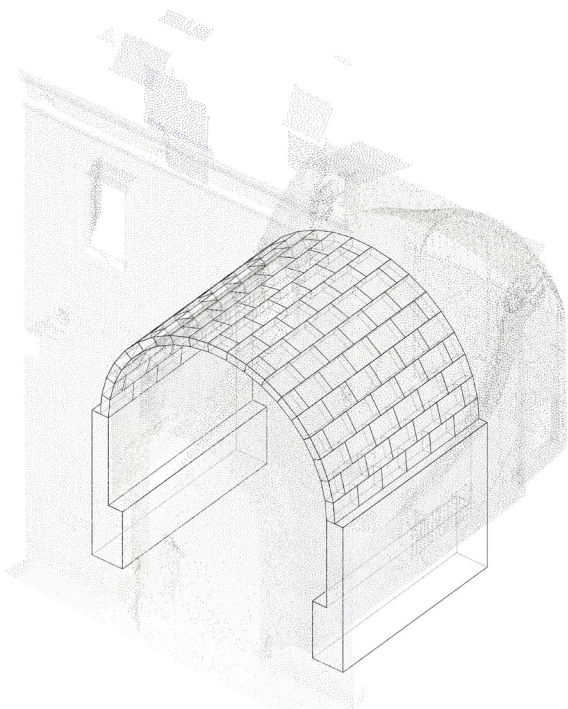
## CRMmax

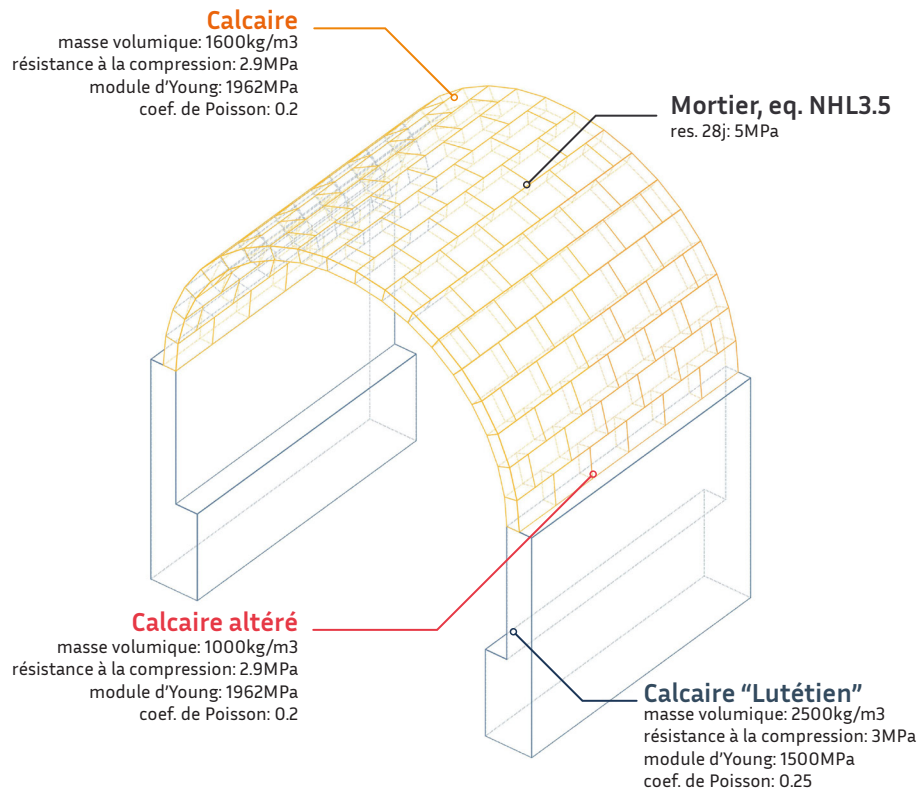
L'extension CRMmax n'a pas vocation à être un plugin pour CRMcore comme le sont CRMgeo ou CRMsci. Elle contient l'ensemble des raccourcis de modélisation et les extensions nécessaires à la modélisation du domaine. Cette extension respecte la monotonie, la consistance et la volonté de simplicité de CRM ; en cela seulement 4 classes et 8 propriétés originales sont ajoutées.

## RDFS/OWL/DC/SKOS/OM

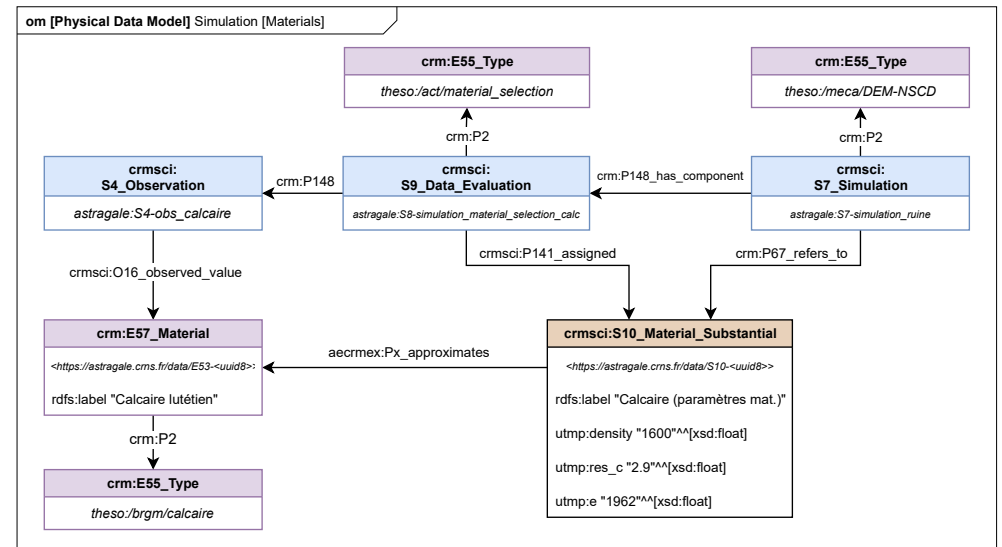
Langages standards pour la confection d'ontologies (RDFS & OWL).  
Ontologies génériques pour la gestion de profils de métadonnées simples (Dublin Core), de vocabulaires contrôlés par thésaurus (Simple Knowledge Organization System) et pour la gestion des unités de mesure

# BUILTWORK GEOMETRY



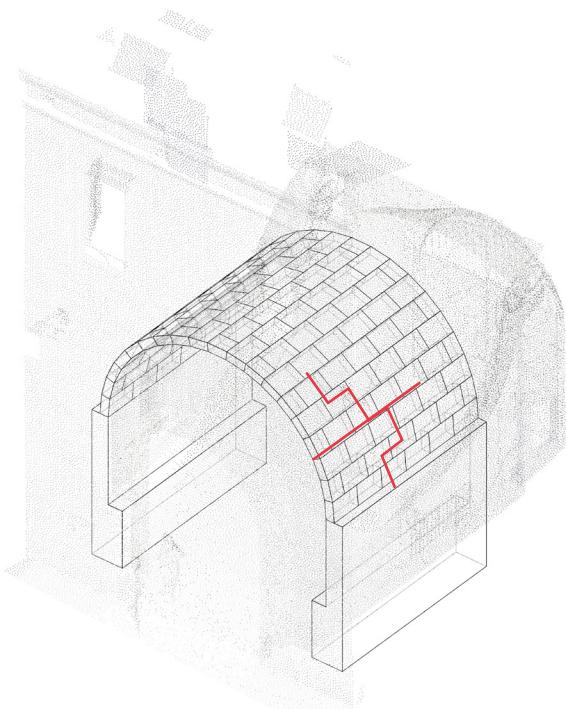


## MATERIALS

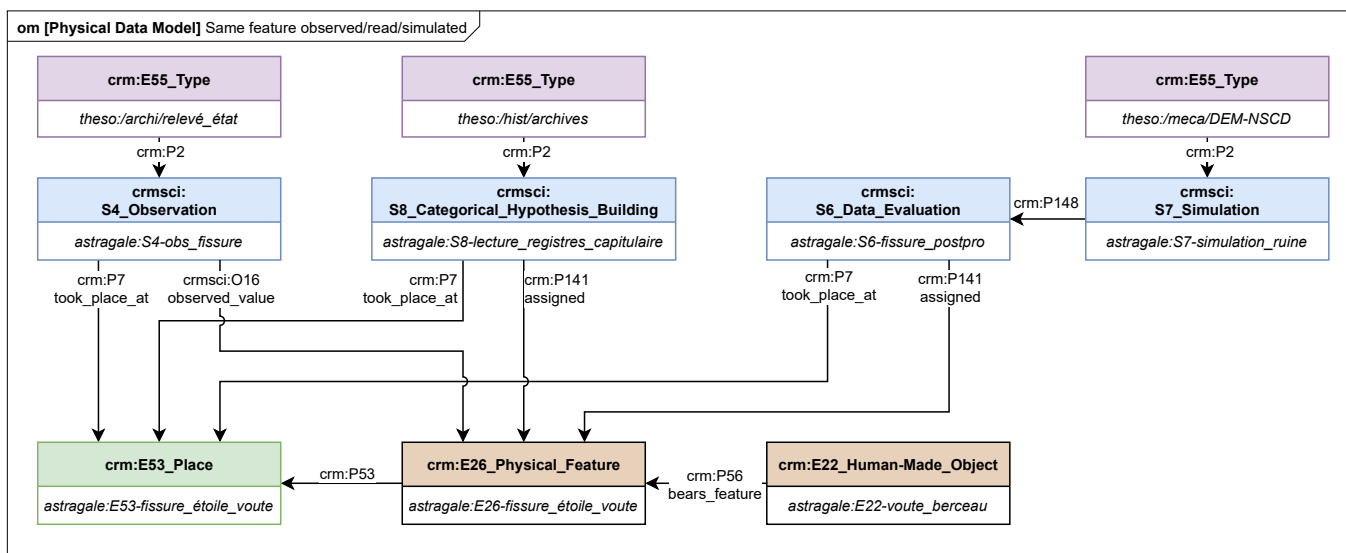


Modélisation ontologique pour l'intégration des métadonnées liées à :  
la définition des paramètres matériau (A.Gros, 2023)

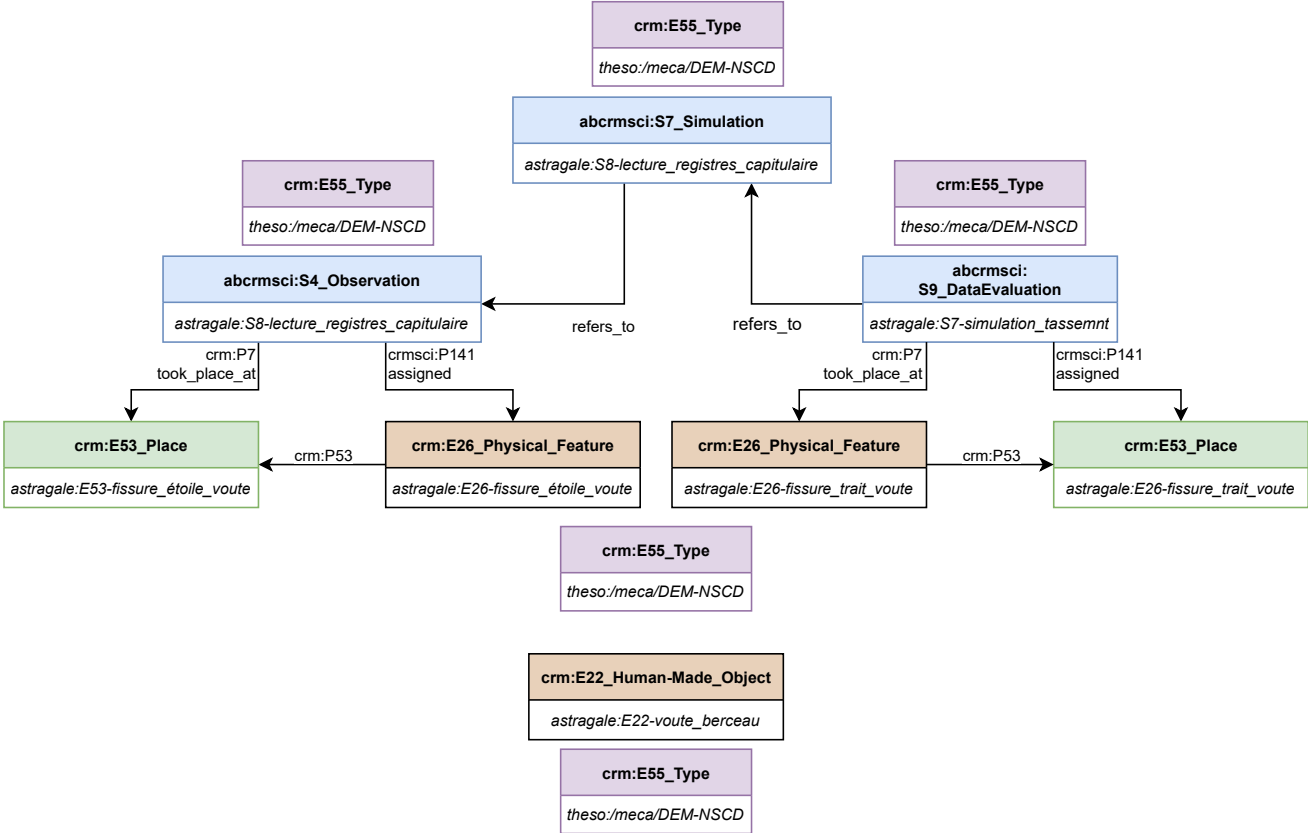
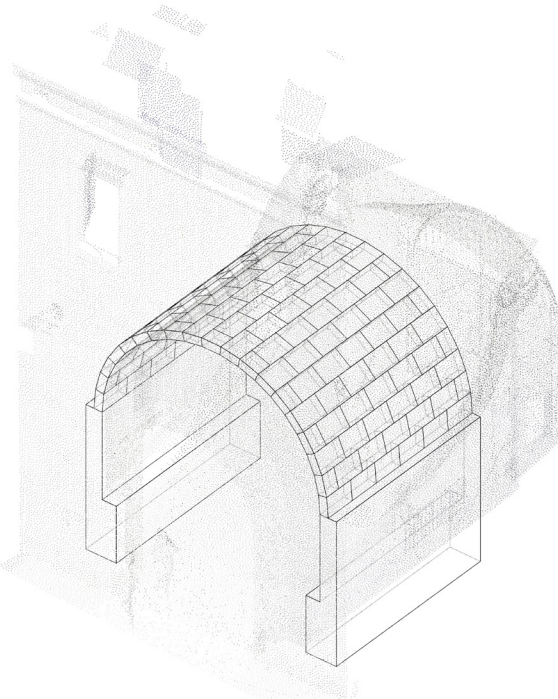
## ALTERATION, CROSS CRACK



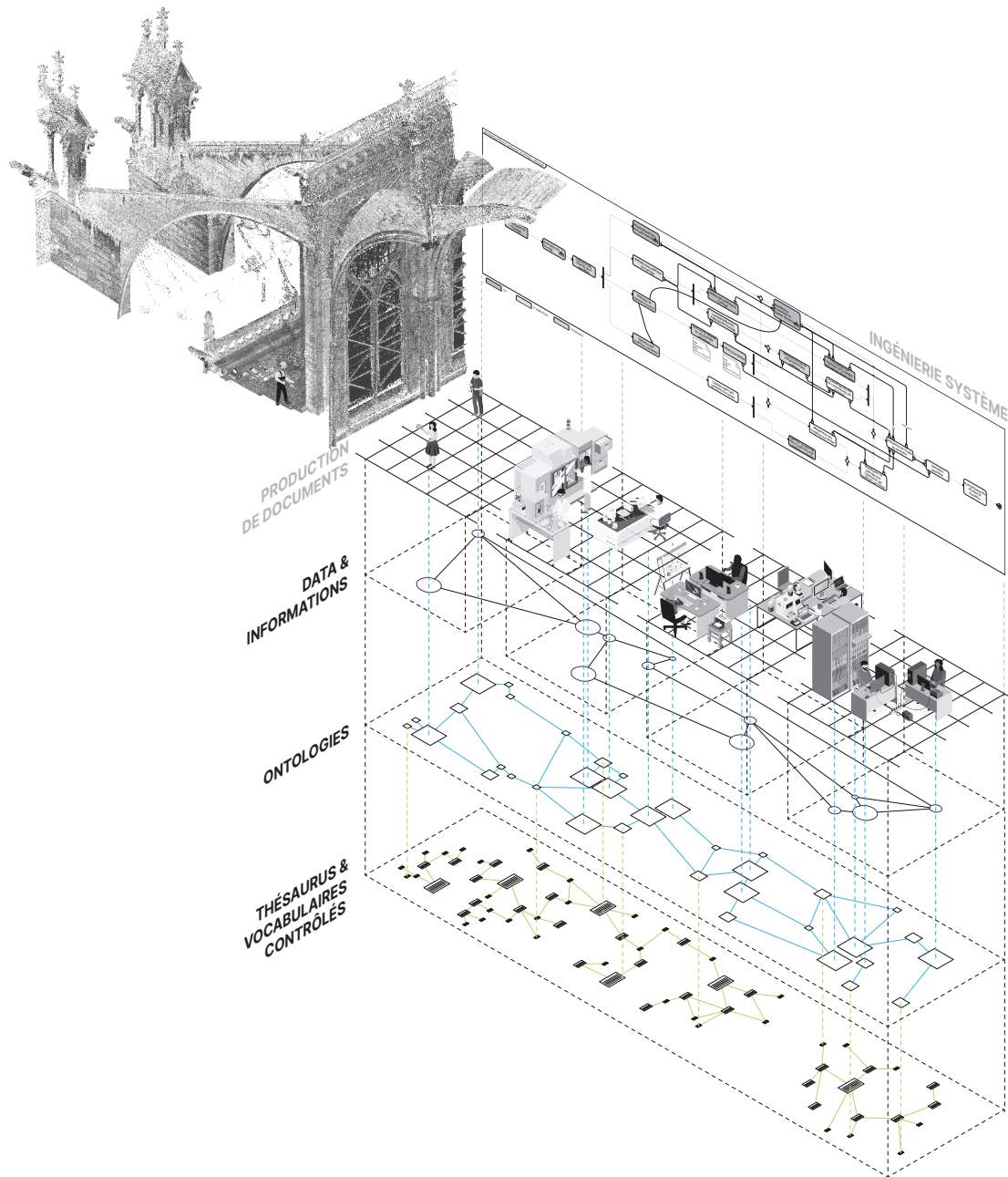
Modélisation ontologique pour l'intégration des métadonnées liées à :  
l'observation, l'hypothèse née de la lecture d'une archive et la prédiction



# ALTERATION, CROSS CRACK







Millefeuille  
(A.Gros, 2023)

**Conclusion**

II. From modeled processes to knowledge modeling



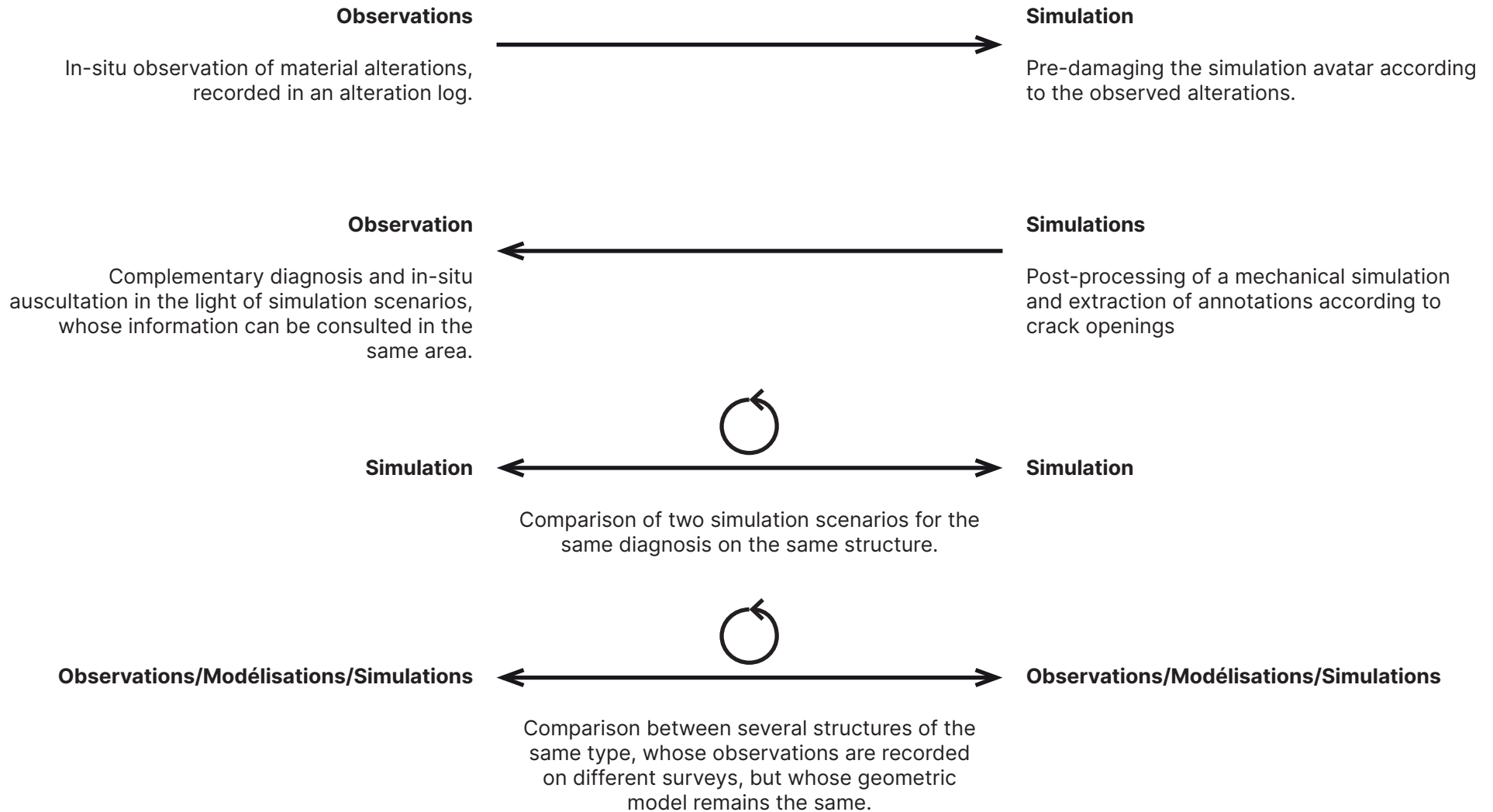
---

III.

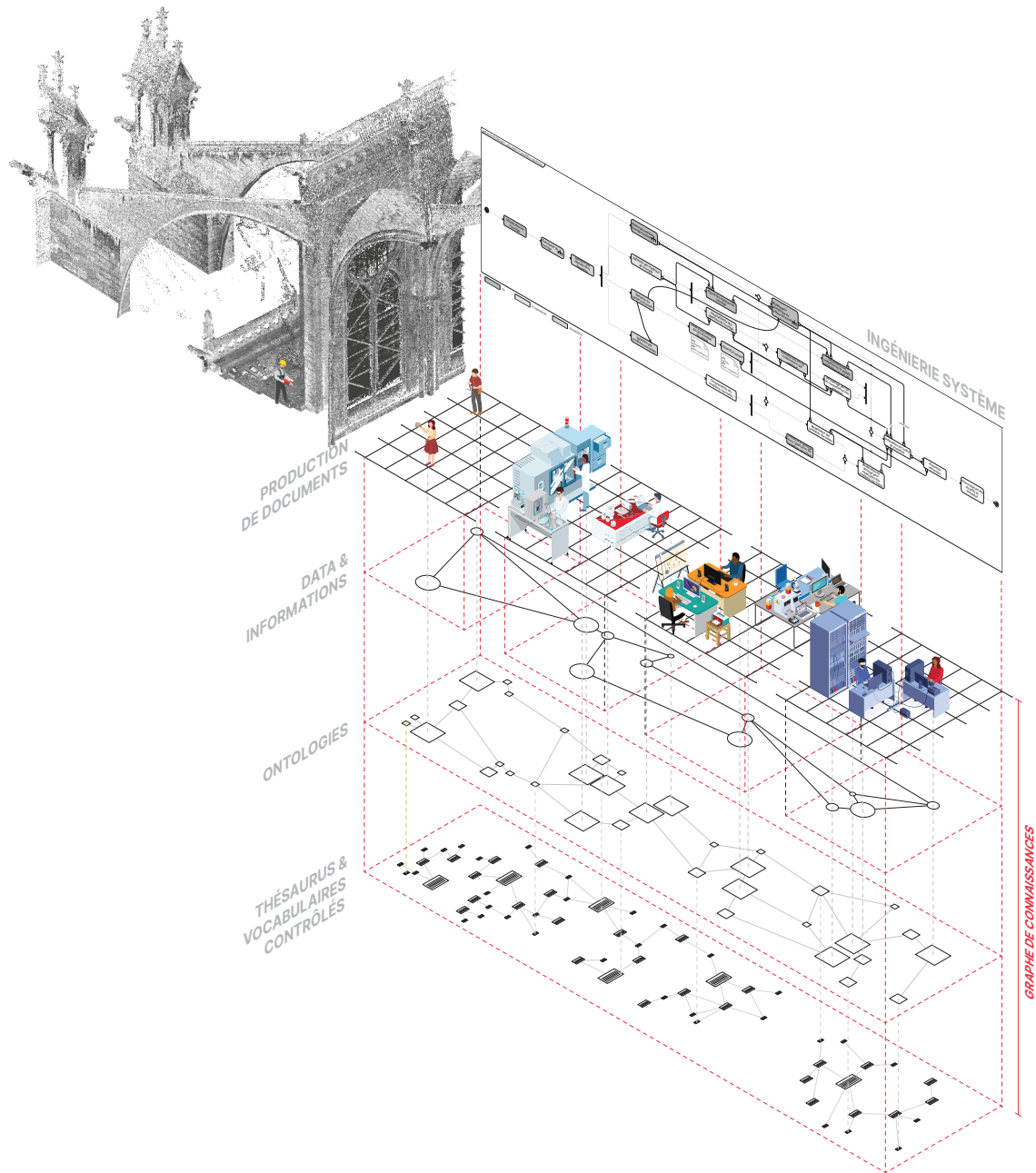
**FROM MODELED PROCESSES  
TO KNOWLEDGE MODELING**

---

Voûte en berceau à l'entrée du Fort l'Ecluse de Léaz (A.Gros, 2023)



*Millefeuille (A.Gros, 2023)*



### Sharing scientific knowledge

Mots-clefs: communauté de données, graphe de connaissances, catalogue de données, donnée structurée

### Sharing expert knowledge

Mots-clefs: Building Information Modelling, Digital Twin

Millefeuille  
(A.Gros, 2023)

## DATA POLICIES

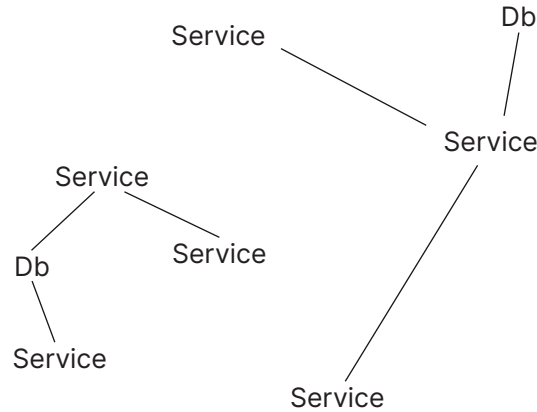
FAIR (Findable, Accesible, Interop., Reusable)

Ethics

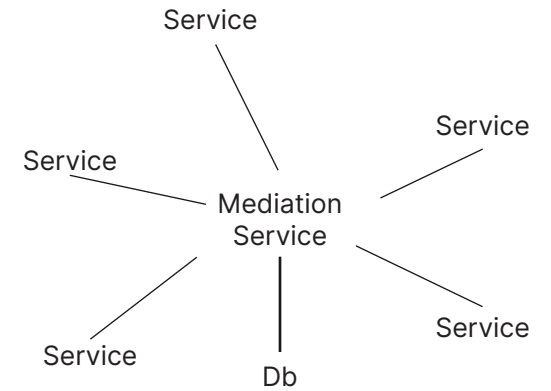
Security

## SUPPORTING ARCHITECTURE

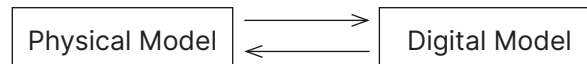
### Digital Ecosystem



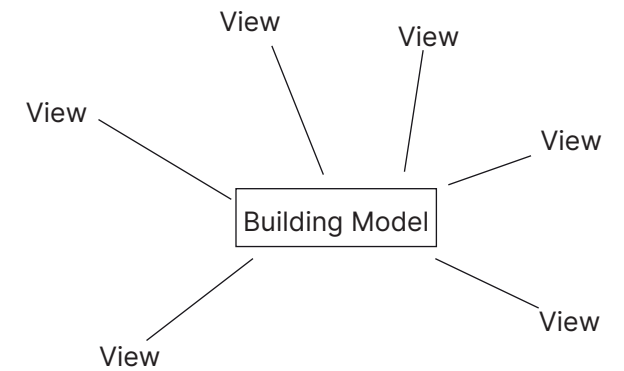
### Data Common



### Digital Twin



### Building Information Modelling









---

IV.

**CONCLUSION**

---

*Essai de résistance en compression d'un mur en brique historique (Anon, 19xx)*



## Introduction

Erum nis pedi ut animpor sam, quid qui as necerum escia comnimaximus voluptusanis et at mint aut et et re voluptatia nobis a cori natecabore nonsedi consedi onsequo samenisqui quias exceaquunt, est latibus cipitatem hiliqui a num aut pa dolupta tibusantota netur, omnit essitatori vene commolot

### I. Du diagnostic structurel d'un ouvrage bâti à la modélisation des processus

Dero blaccati illecto moluptiae velissim culpa sum am ex eosanda ndiossita. Quia doleceariae est, sit earibus voluptatur rem fugitam ab ipsunt. Ximento berspeligent vollab isin nos ea voluptatur rem vernam ipsa

### II. Des processus modélisés à la modélisation des connaissances

Os sitate cum rescide maxim corepudi conestotat et aut que es santumquunt ut id eosae veritatio et latistio. Optur andae nos pero te sum faceat eris si coriatatet et doluptius nonsequis dolut facerioratem rehenes esed ma

### III. De la modélisations des connaissances à une communauté de données

Lab il magnienim is accat eatus.

Nequat estrum dolupta conse minis aliatem quodit ea voluptias et est, quatibu santem qui auditiandi omni odita et ommo molupta sperovi diciatiur autem

## Conclusion

Erum nis pedi ut animpor sam, quid qui as necerum escia comnimaximus voluptusanis et at mint aut et et re voluptatia nobis a cori natecabore nonsedi consedi onsequo

Erum nis pedi ut animpor sam, quid qui as necerum escia comnimaximus voluptusanis et at mint aut et et re voluptatia nobis a cori natecabore nonsedi consedi onsequo

Erum nis pedi ut animpor sam, quid qui as necerum escia comnimaximus voluptusanis et at mint aut et et re voluptatia nobis a cori natecabore nonsedi consedi onsequo

## I. Du diagnostic structurel d'un ouvrage bâti à la modélisation des processus

Fonctionnement mécanique d'un ouvrage maçonné  
Méthodes numériques de calcul pour la simulation mécanique

\*\*PARENT, T., BROCATO, M., COLAS, A. -S., DOMEDE, N., DUBOIS, F., GARNIER, D., GROS, A., MINDEGUIA, J. -C., MOREL, S., MORENON, P., NOUGAYREDE, P. et TAFOREL, P., 2023. A multi-model structural analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris Cathedral after the 2019 fire and a proposal for a hybrid model merging continuum and discrete approaches. *Journal of Cultural Heritage* [en ligne]. 19 mai 2023. [Consulté le 13 septembre 2023]. DOI 10.1016/j.culher.2023.05.009. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423000626>

\*MORENON, Pierre, BROCATO, Maurizio, COLAS, Anne-Sophie, DOMÈDE, Nathalie, DUBOIS, Frédéric, GARNIER, Denis, GROS, Antoine, MOREL, Stéphane, NOUGAYREDE, Paul, PARENT, Thomas et TAFOREL, Paul, 2023. Fonctionnement mécanique d'une voûte sexpartite de la cathédrale Notre-Dame de Paris. In : *Journées Nationales de la Maçonnerie*. Ecole Centrale de Lyon. juin 2023.

\*MORENON, Pierre, BROCATO, Maurizio, COLAS, Anne-Sophie, DOMÈDE, Nathalie, DUBOIS, Frédéric, GARNIER, Denis, GROS, Antoine, MOREL, Stéphane, NOUGAYREDE, Paul, PARENT, Thomas et TAFOREL, Paul, 2023. Benchmark numérique des méthodes de calcul non-linéaires appliqués à la cathédrale Notre-Dame de Paris. In : *Journées Nationales de la Maçonnerie*. Ecole Centrale de Lyon. juin 2023

## II. Des processus modélisés à la modélisation des connaissances

Composantes transversales :  
Spatialisation de l'information et Séquences d'événements

\*GROS, Antoine, DE LUCA, Livio, DUBOIS, Frédéric, VÉRON, Philippe et JACQUOT, Kevin, 2023. Décrire une hypothèse au sein d'un graphe de connaissances, d'une simulation mécanique à un fait historique. In : *Humanistica 2023* [en ligne]. 2023. [Consulté le 3 octobre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-04106032/>

\*GUILLEM, Anaïs, GROS, Antoine et DELUCA, Livio, 2023. Faire parler les claveaux effondrés de la cathédrale Notre-Dame de Paris. In : *Humanistica 2023* [en ligne]. 2023. [Consulté le 3 octobre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-04106101/>

\*GUILLEM, Anaïs, GROS, Antoine, REBY, Kevin, ABERGEL, Violette et LUCA, Livio De, 2023. RCC8 for CIDOC CRM: semantic modeling of mereological and topological spatial relations in Notre-Dame de Paris. In : *Semantic Web and Ontology Design for Cultural Heritage*. Athens. 2023.

\*GUILLEM, Anaïs, GROS, Antoine, ABERGEL, Violette et DE LUCA, Livio, 2023. Reconstruction beyond Representation in Notre-Dame de Paris. In : *MetroArcheo2023*. Rome. octobre 2023.

GROS, A., 2023. Ontological modelisation for the structural diagnosis of masonry built works. *European Workshop for conservation science ontological modelisation*. Conférence. Marseille. 6 septembre 2023.

GROS, A., 2023. Ontological modeling for the structural diagnosis of masonry built works. 47th CIDOC SIG. Conférence. Marseille. octobre 2023.

## III. De la modélisations des connaissances à une communauté de données

Framework

\*\*GROS, Antoine, GUILLEM, Anaïs, DE LUCA, Livio, BAILLIEUL, Élise, DUVOCELLE, Benoit, MALAVERGNE, Olivier, LEROUX, Lise et ZIMMER, Thierry, 2023. Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris. *Scientific Reports*. Nature Publishing Group. 2023. Vol. 13, n° 1, pp. 5981.

### I-II-III.

GROS, Antoine, 2023. Vers un environnement numérique collaboratif pour l'analyse multimodale des structures en maçonnerie. *Cafés de la Recherche en Architecture*. Conférence. 26 février 2023.

GROS, Antoine, LUCA, Livio De, DUBOIS, Frédéric et VERON, Philippe, 2023. Vers un environnement numérique collaboratif pour l'analyse multimodale des structures en maçonnerie. *Journée d'études Génies de Pierre*. Poster. Montpellier. 15 septembre 2023.

ABERGEL, Violette, GUILLEM, Anaïs, GROS, Antoine et PAMART, Anthony, 2023. Jeux de données 3D à Notre-Dame de Paris : enjeux, outils, challenges et perspectives. *Humanistica 2023*. Table Ronde. Genève. juin 2023.

\*\*GROS, Antoine, LUCA, Livio De, DUBOIS, Frédéric et VERON, Philippe, 2023-2024. *Data Commons for Structural Diagnosis of Masonry Builtworks*. *Automation in Construction* [En cours d'écriture]



## **ASTRAGALE-MAIN**

Suivi de projet, écriture



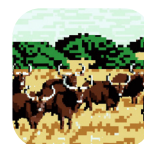
## **ASTRAGALE-ASTRAGALE**

Notebooks, exemples, documentation des API et du système, pipelines de données et traitement



## **INLAKE**

Inlake is a data gateway for an event-centric knowledge-base system. It is intended for the smooth ingestion of: binary files and their metadatas, structured and unstructured textual information.



## **ASTRAGALE-KIBOS**

KIBOS est l'implémentation d'une architecture système orientée événement pour la visualisation et le traitement des données scientifiques relatives au diagnostic structurel.



## **STREAMGRAPHITI**

Stream\_Graphiti is a faust-based stream processor for RDF data mapping to a SPARQLStore compliant triple store. Its behavior is heavily conditioned to the provided schemas and mappers.

### Formation suivies

35h : Formation d'une semaine sur LMGC90, logiciel de simulation en éléments discrets. Savoir-faire dans la composition et la simulation sur des modèles mécaniques pour l'étude de structures maçonnées. (mars 22)

Journées des doctorant

xh : Formation d'une semaine sur LMGC90, logiciel de simulation en éléments discrets. Savoir-faire dans la composition et la simulation sur des modèles mécaniques pour l'étude de structures maçonnées. (mars 22)

Journées des doctorant



---

Antoine Gros

Livio De Luca  
Frédéric Dubois  
Philippe Véron  
Kévin Jacquot

---

## VERS UN ENVIRONNEMENT NUMÉRIQUE COLLABORATIF POUR L'ANALYSE MULTIMODALE DU COMPORTEMENT DE STRUCTURES

---

Comité de suivi individuel du projet de thèse Astragale,  
A distance, le 25 octobre 2023

### MITI-Astragale

Doctorant : Antoine Gros (MAP/LMGC/LISPEN)

Livio de Luca (MAP/CNRS-MC), Frédéric Dubois  
(LMGC/CNRS-UM), Philippe Véron (LISPEN/  
Arts&Métiers) et Kévin Jacquot (MAP/CNRS-MC)



*South West View of St. Paul's Cathedral and Blackfriars Bridge  
(William James Bennett, 1810) [@Yale Center for British Art]*