IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

L'apport de la numérisation de Notre Dame de Paris : écosystème numérique et modélisations avancées

F. Dubois, LMGC
L. de Luca, MAP

05/11/2024 - Journée technique

Sommaire

- Contexte
- Les données avant incendie pour aider à la reconstruction
- Les données après incendie pour mieux comprendre
- Vers un écosystème numérique pour générer de la connaissance
- Conclusion

Contexte

Le chantier scientifique Notre-Dame (CNRS – MC)

Chantier scientifique CNRS – Ministère de la Culture :
9 groupes de travail (plus de 150 chercheurs)

- Pierre
- Bois
- Métal
- Verre
- Structures
- Numérique
- Emotion
- Décor
- Acoustique

Les acteurs : ACMH (MOE + BET) – RNDP (MOA)

cnrs

MINISTÈRE DE LA CULTURE
Liberté
Égalité
Fraternité

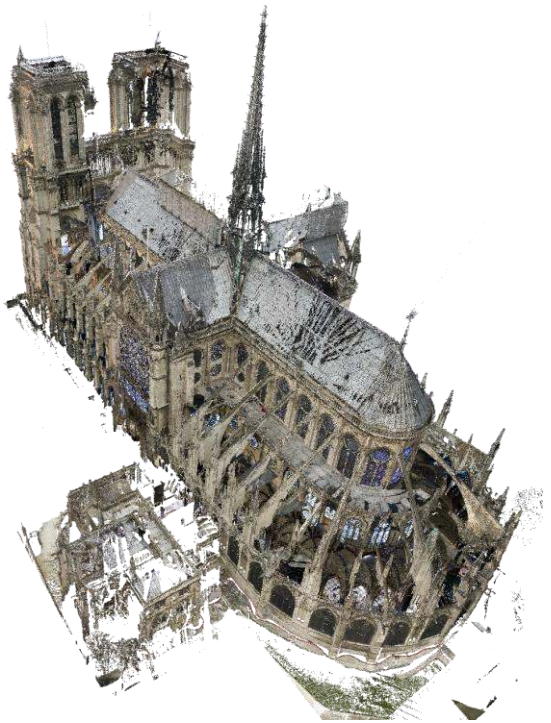
Établissement public
chargé de la conservation et de la restauration
de la cathédrale Notre-Dame de Paris

https://www.notre-dame.science/

https://rebatirnotredamedeparis.fr/

Les données avant incendie

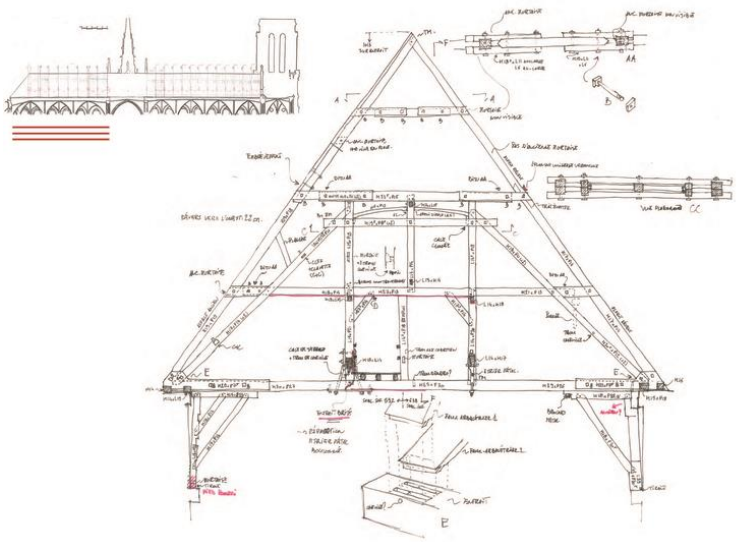
Nuage de points d'Andrew Talon (2011-2012)



Etude de la charpente par Rémi Fromont et Cédric Trentesaux (2013-2015)

Reportages Photos

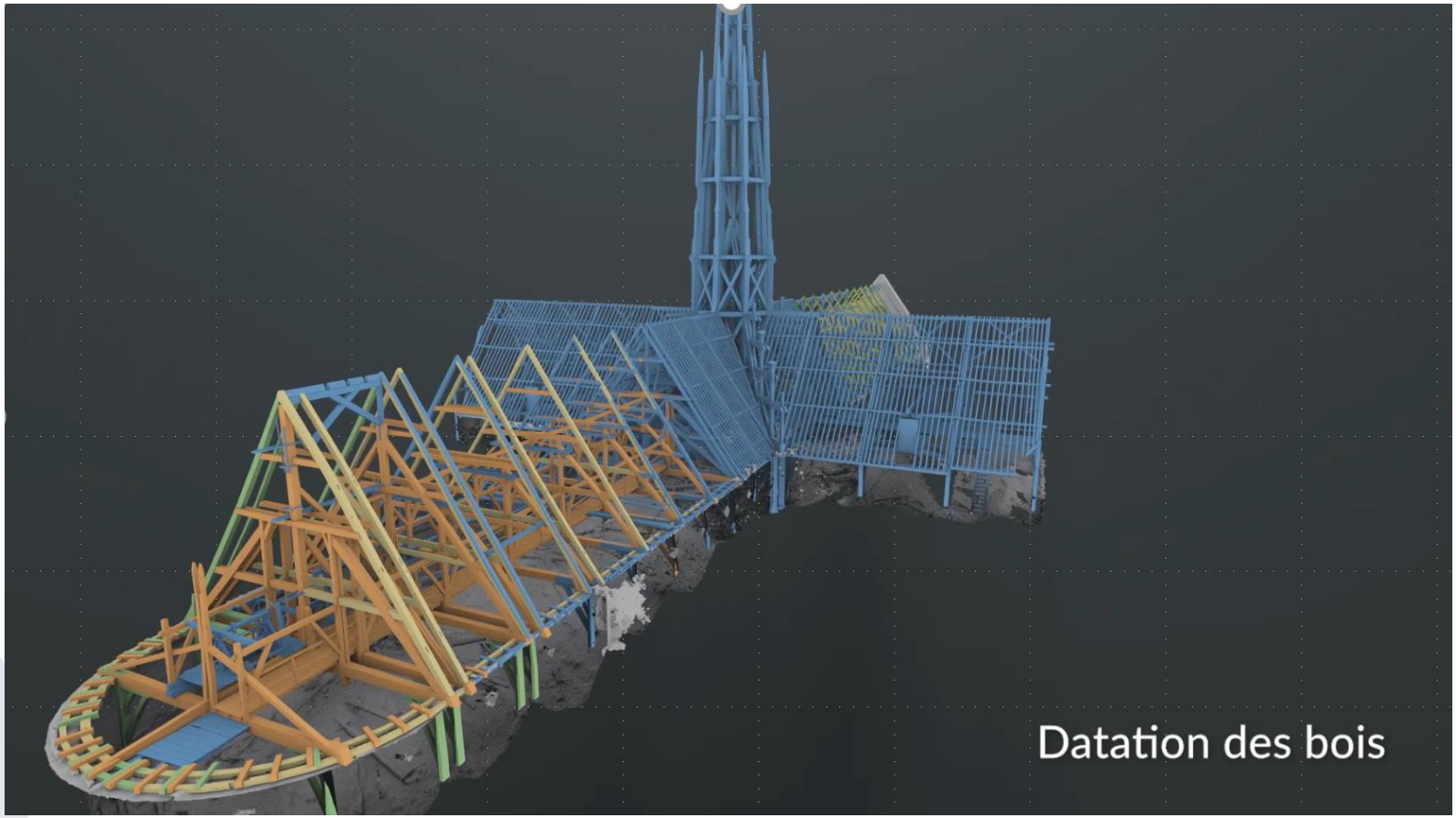
Sources iconographiques



IMGC

Les données avant incendie

Travail de restitution de la charpente



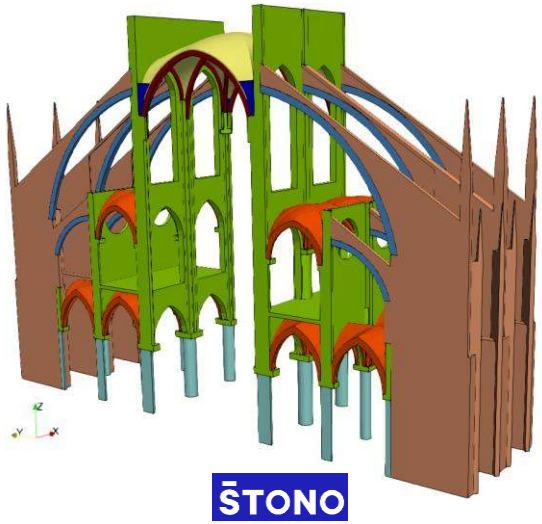
Kevin Jacquot

https://www.youtube.com/watch?v=xihoQLMvvS0

Les données avant incendie

Evaluation structurale

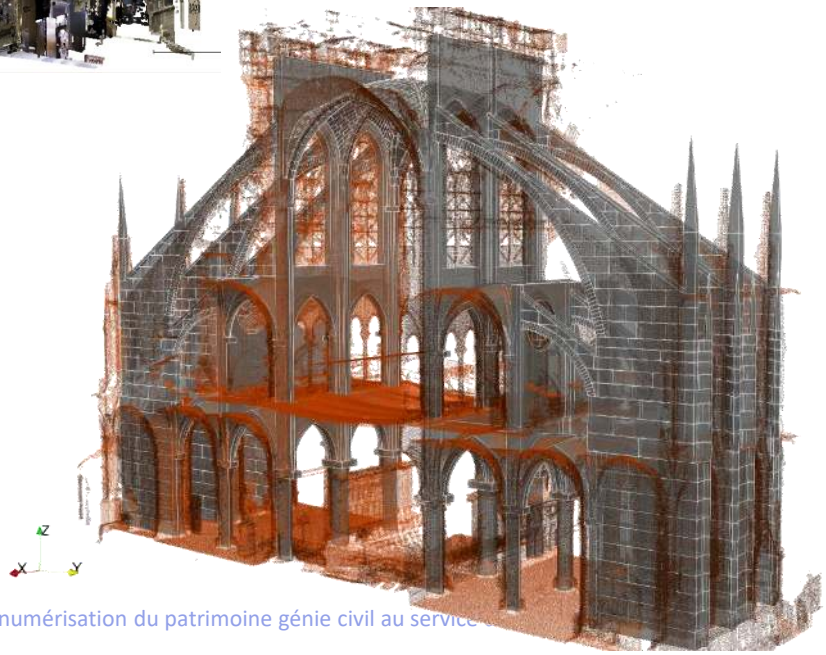




arcs
culées
piliers
quadripartites
gouttereaux
nervures
sexpartite
remplissages





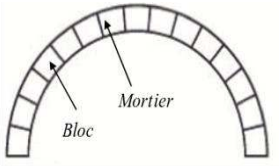


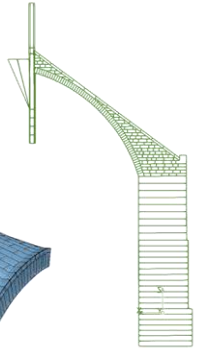
IMGC

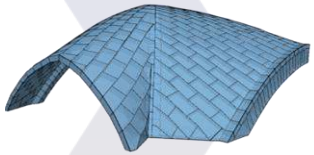
Les données avant incendie

Evaluation structurale : 3 méthodes de calcul

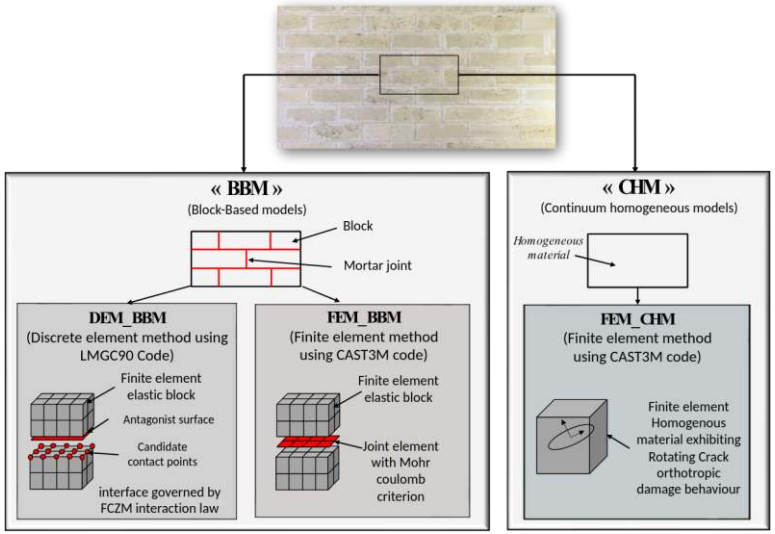
Modèle bloc à bloc



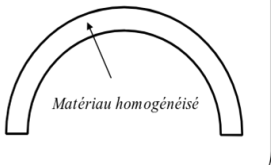


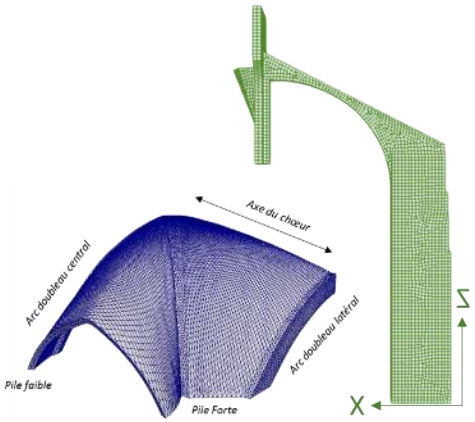


Utiliser plusieurs modèles



Modèle continu



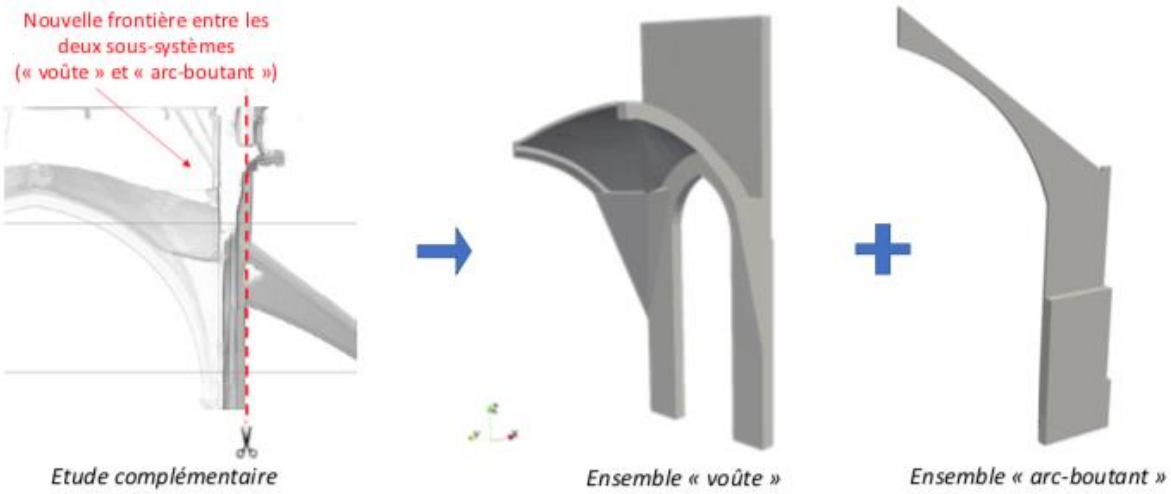


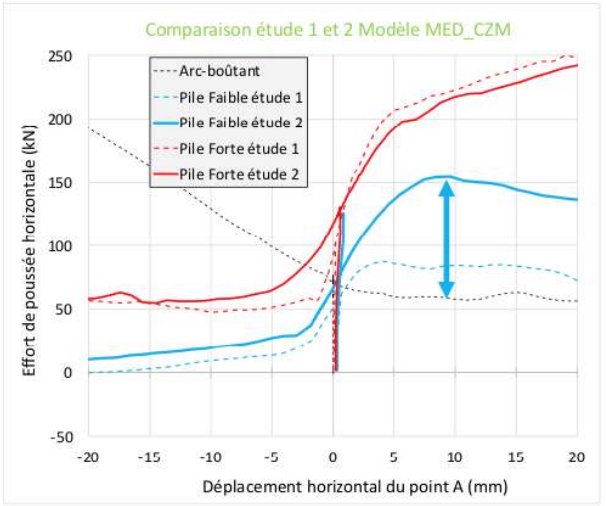
Les données avant incendie

Evaluation structurale

Peu de données : matériaux, état initial, etc

Objectif : comprendre le rôle des éléments structuraux, évaluer l'impact de l'incendie





T. Parent, M. Brocato, A.-S. Colas et al., 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, https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.05.009

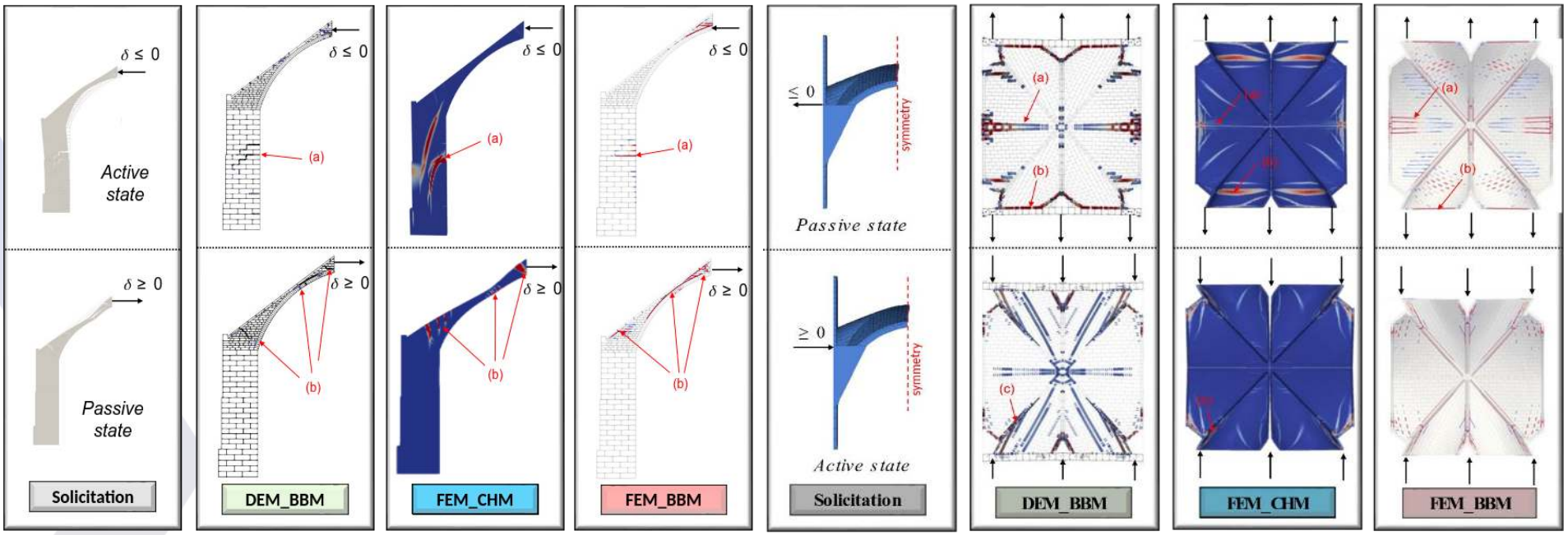
IMGC

Les données avant incendie

Evaluation structurale : 3 méthodes de calcul

Arc boutant

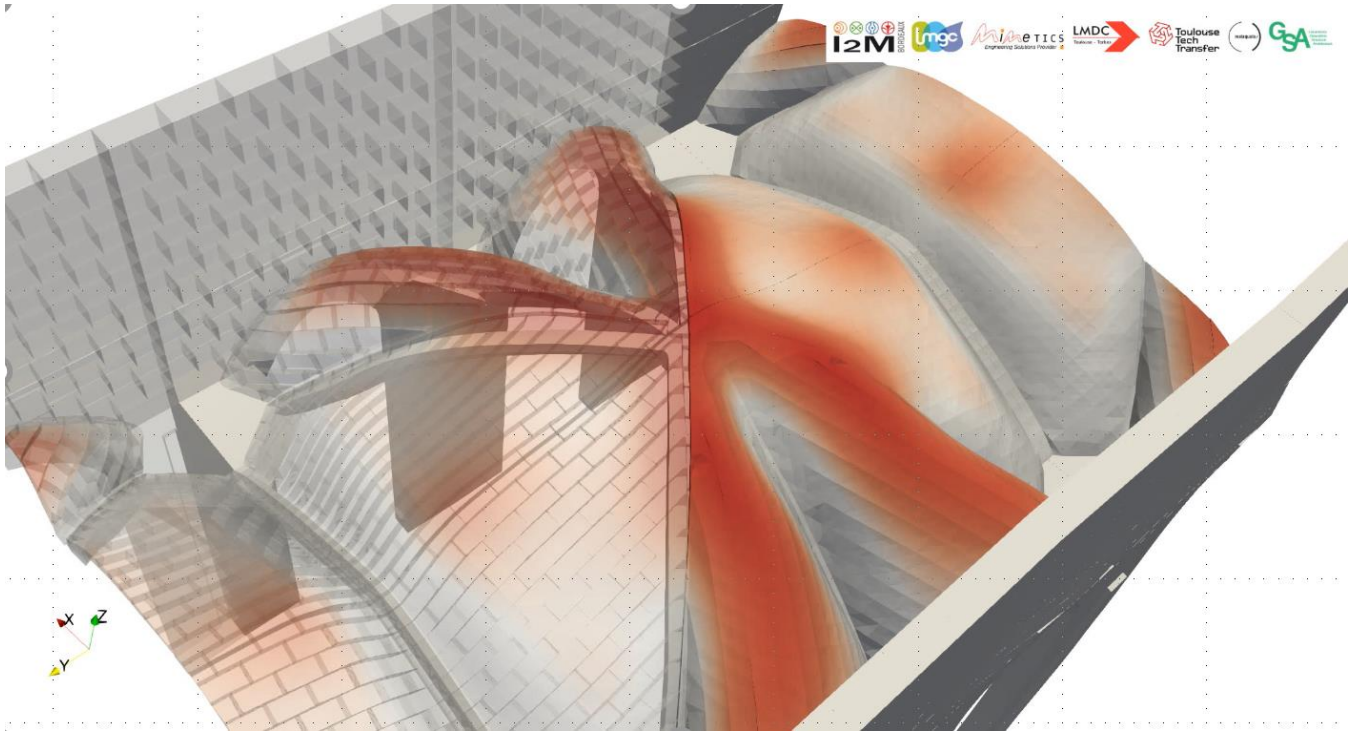
Voûte

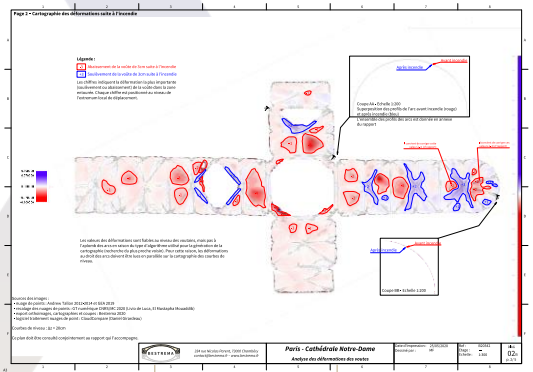


IMGC

Les données avant incendie

Evaluation structurale post-incendie : impact de l'incendie sur les voutes





Déformation résiduelle de la voute suite à l'incendie

Les données après incendie

Faire un état des lieux pour acompagner la reconstruction

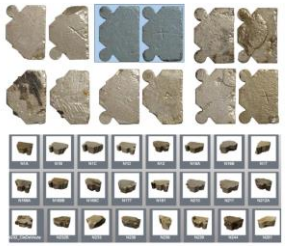


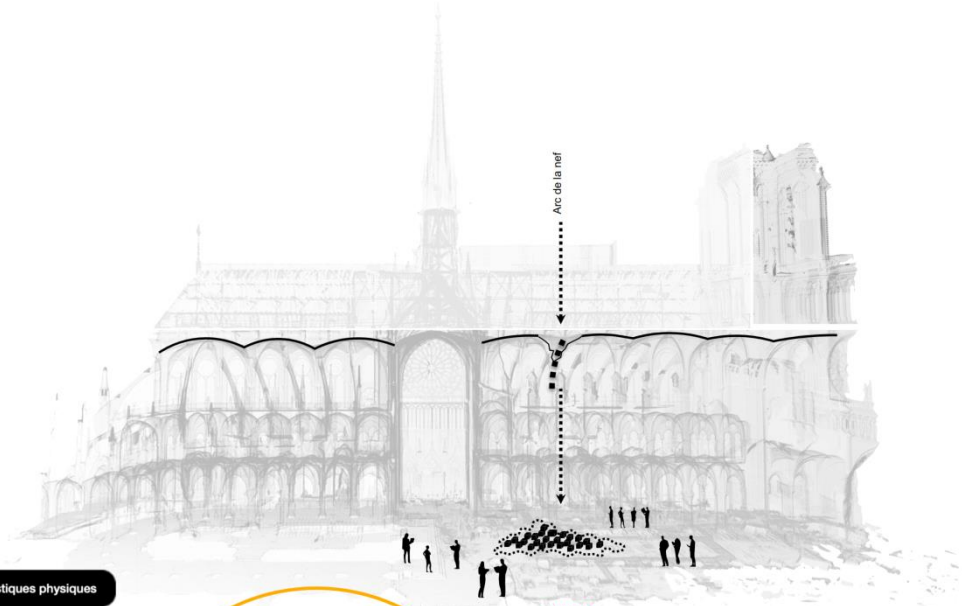


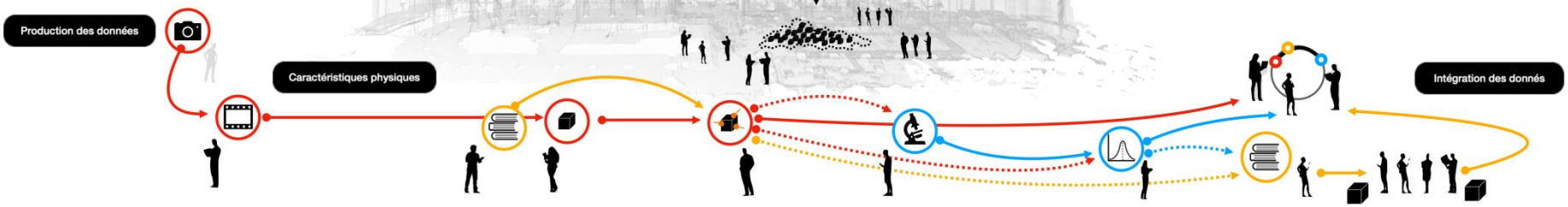
Les données après incendie

Projet repérage (anastylose d'une nervure)



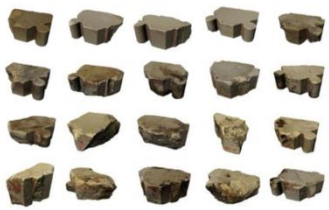




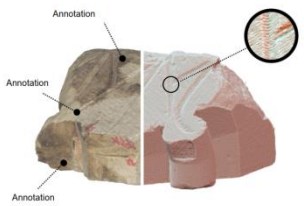




Collecte des données



Selection d'un corpus d'éléments



Étude des caractéristiques



Modélisation numérique d'une hypothèse

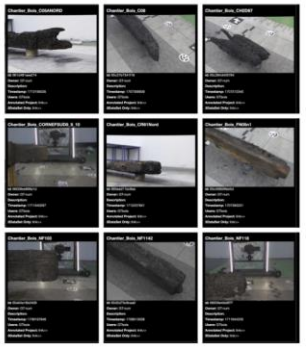


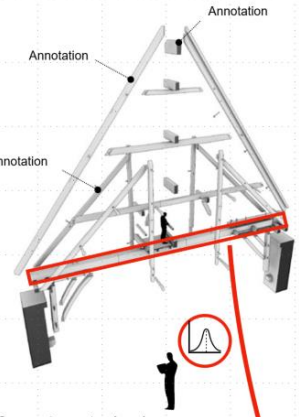
Remontage à blanc

Les données après incendie

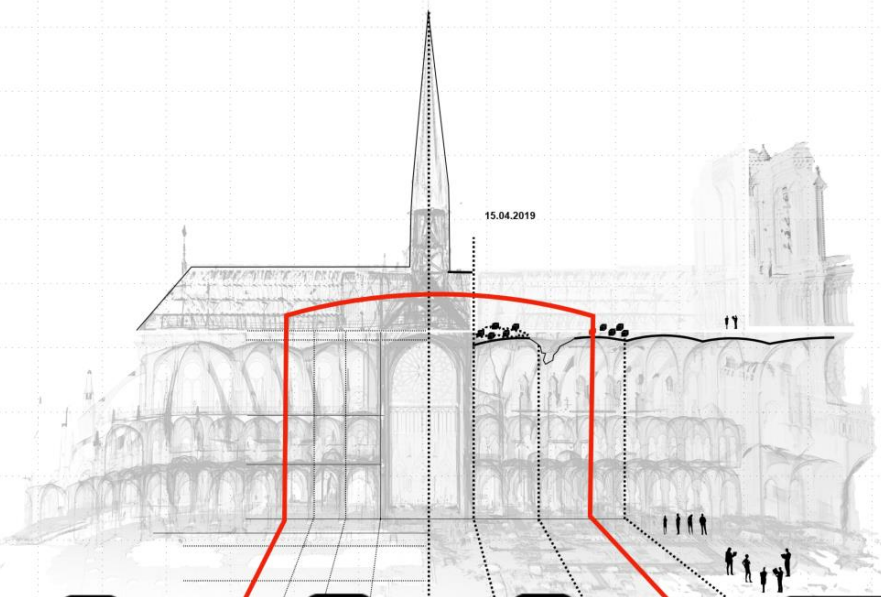
La dendro chronologie

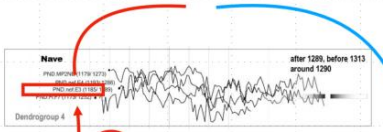




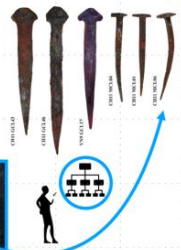


Etude Comportement mécanique

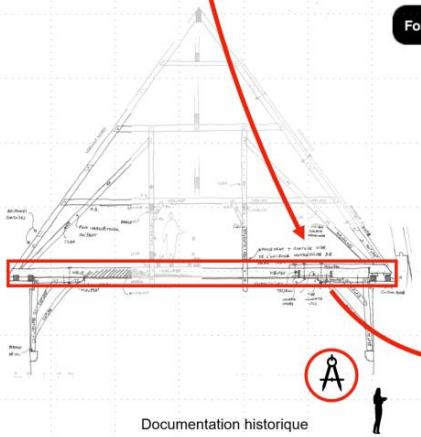




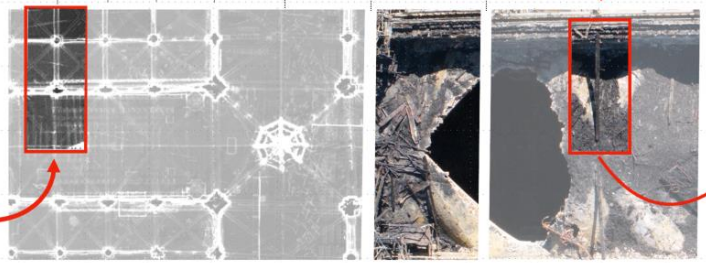
Provenance des matériaux



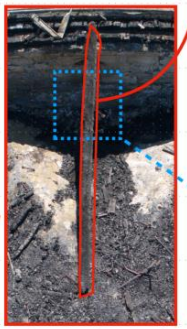
Classification des vestiges



Documentation historique



Régions spatio-temporelles de la forêt avant et après l'incendie



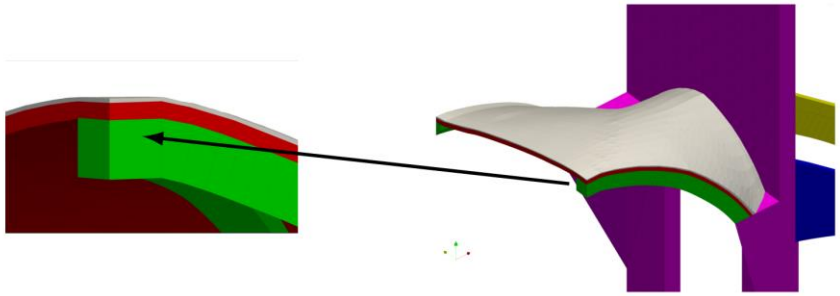
Vestige en bois

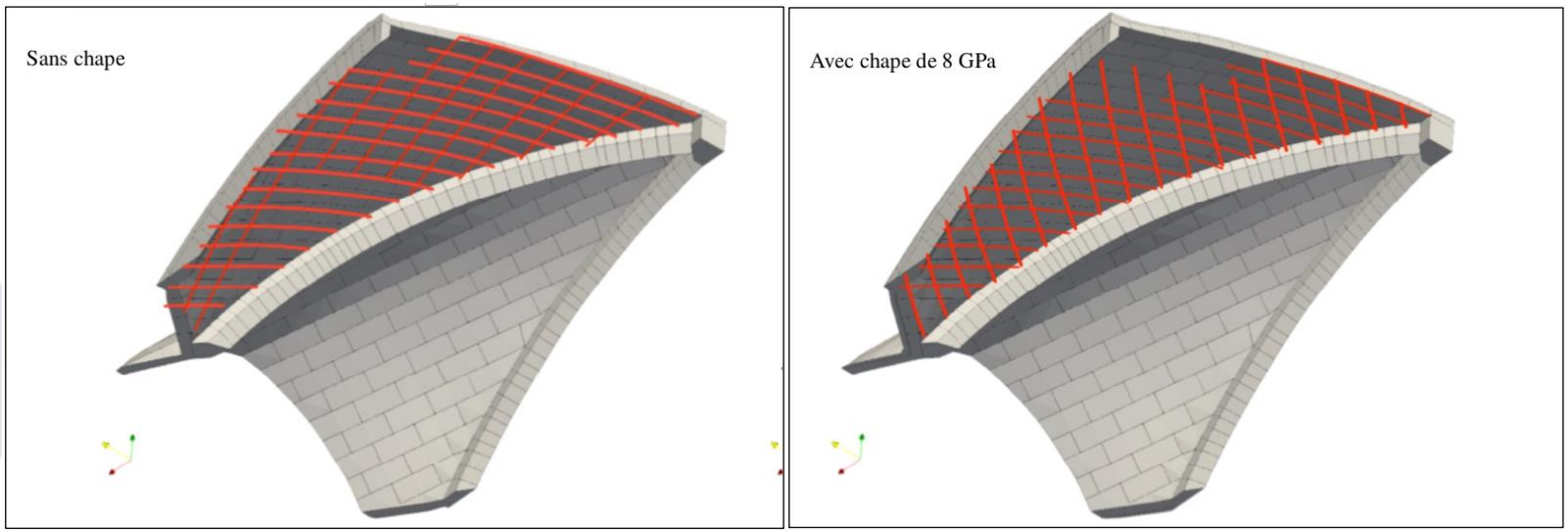


Vestige en métal

Les données après incendie

Evaluation structurale : rôle de la chape de confortement sur une voute ayant subit l'incendie



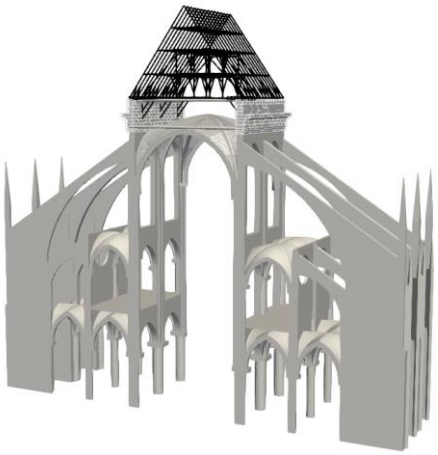


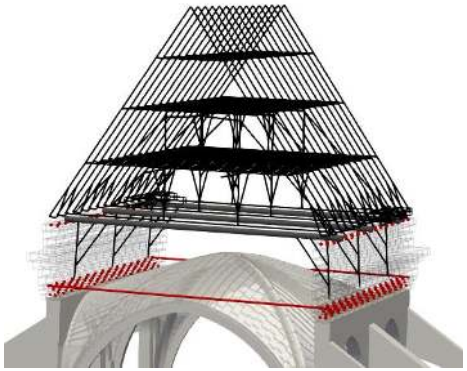
Impact de la chape sur l'orientation des contraintes principales

IMGC

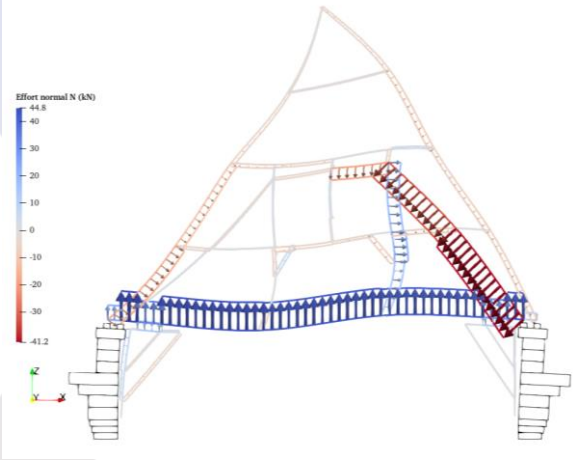
Les données après incendie

Evaluation structure : prise en compte de la charpente, du « métal », du vent sur la structure

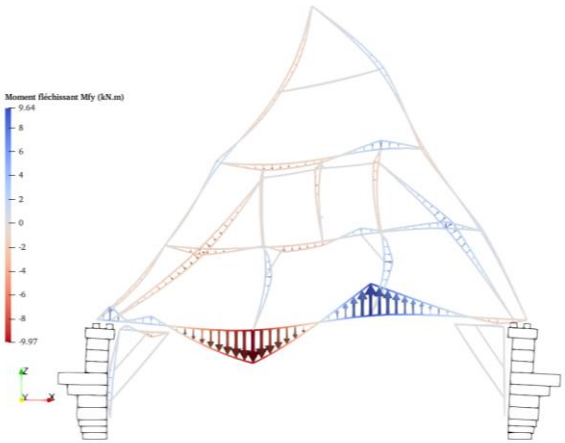




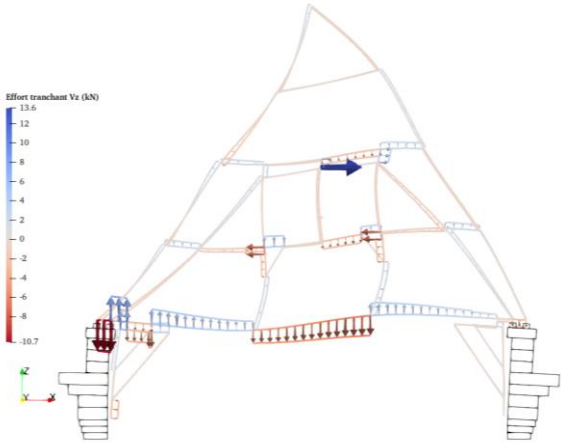
P. Taforel, MiMeTICS



Effort normal



Moment fléchissant



Effort tranchant

P. Nougayrede, LMDC

IMGC

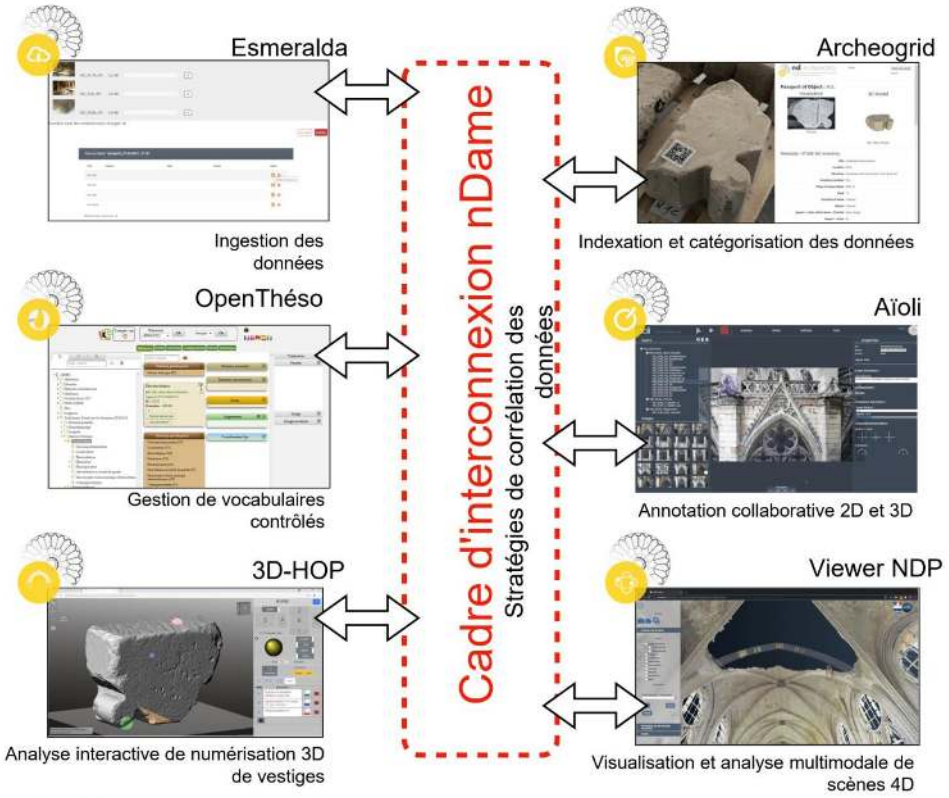
Vers un écosystème numérique

n-dame

n-dame

logiciel provenant de laboratoires ouverts et réutilisables favorisant l'interopérabilité vers de nouvelles normes

Entièrement basé sur technologies Web

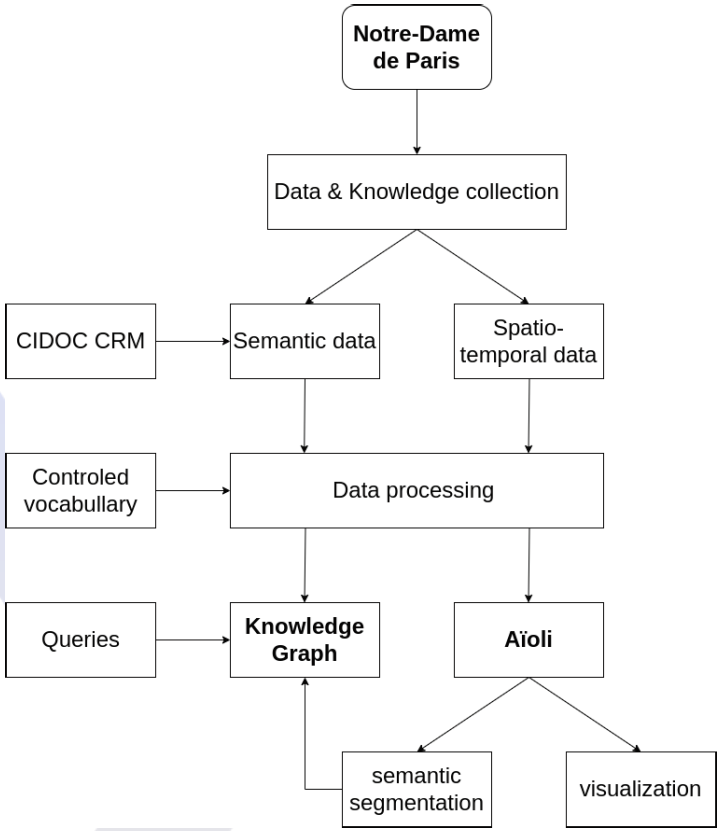


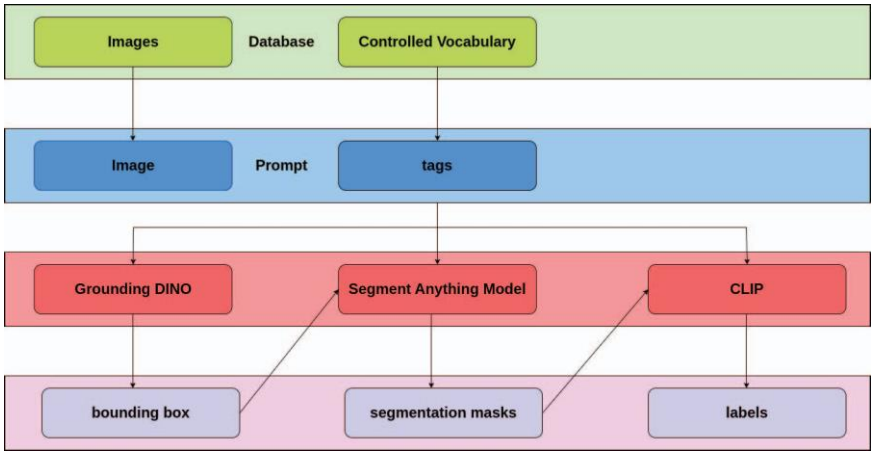
Ariane Néroulidis, Thomas Pouyet, Sarah Tournon, Violette Abergel, Miled Rousset, et al. A digital platform for the centralization and long-term preservation of multidisciplinary scientific data belonging to the Notre Dame de Paris scientific action. Journal of Cultural Heritage, 2023, Special issue "Notre-Dame de Paris"

IMGC

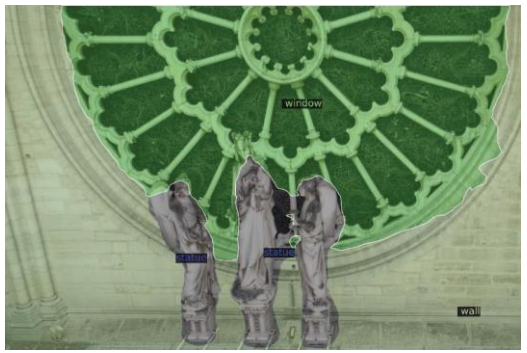
Vers un écosystème numérique

n-dame







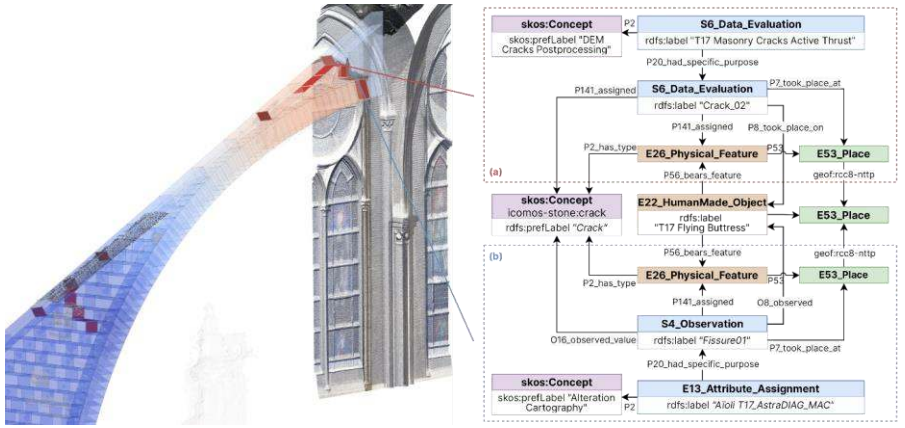


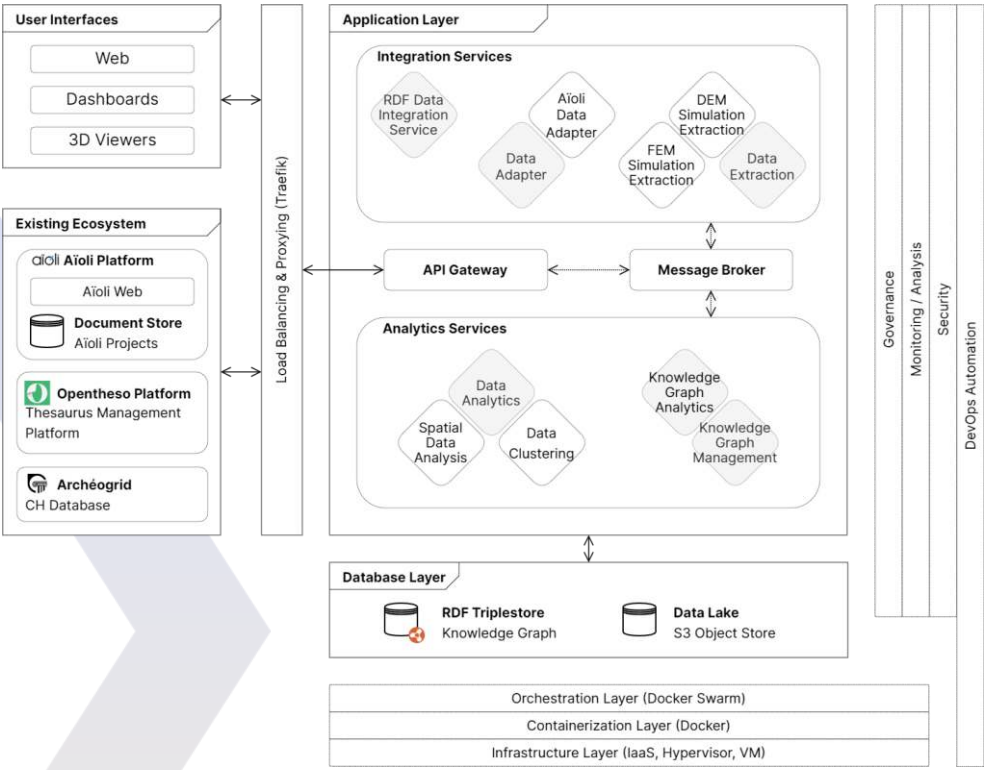
Kévin Réby, Anaïs Guilhelm, Livio De Luca, Semantic Segmentation using Foundation Models for Cultural Heritage: an Experimental Study on Notre-Dame de Paris, 4th ICCV, 2023

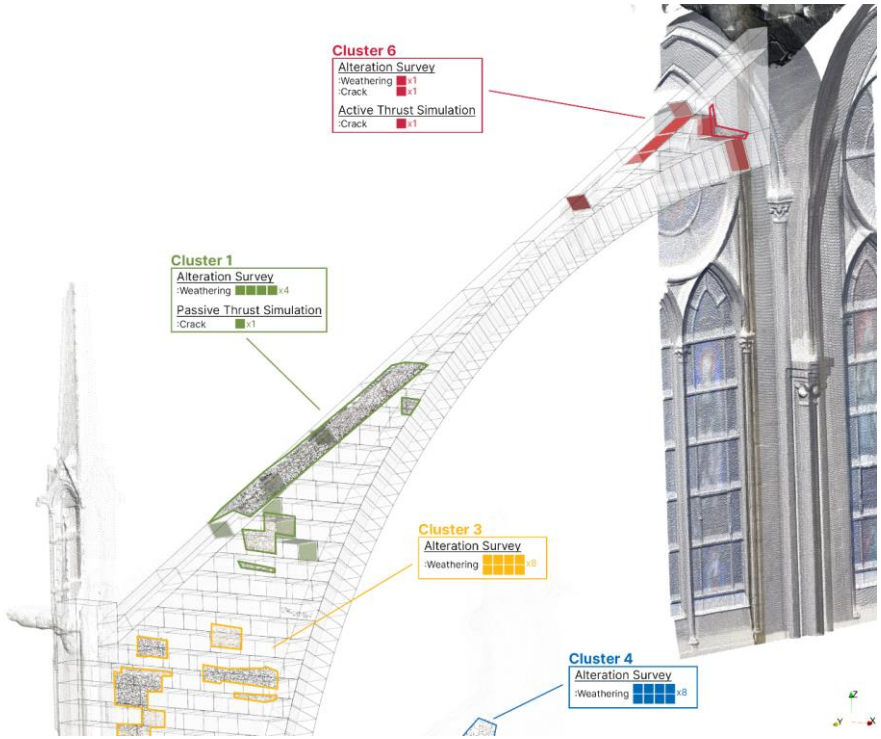
IMGC

Vers un écosystème numérique

Astragale (Antoine Gros)



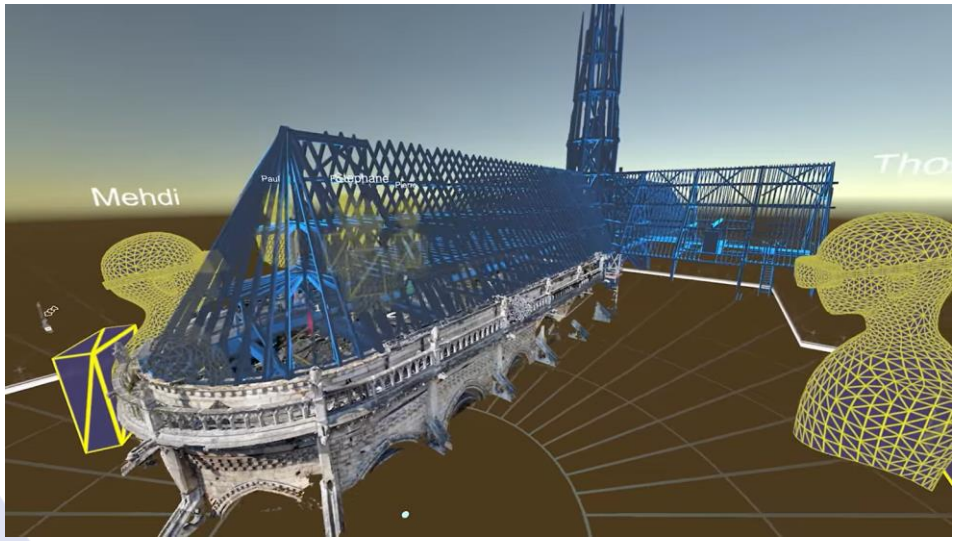


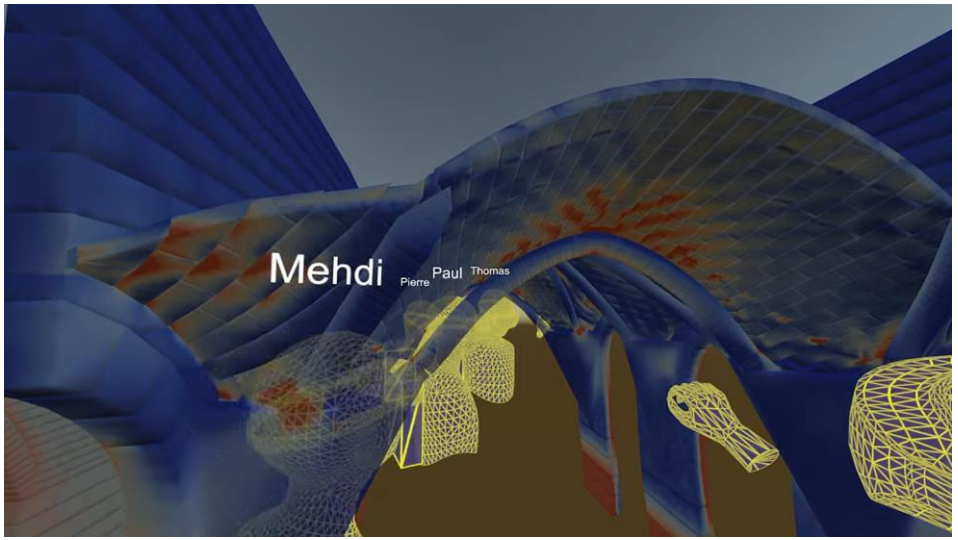


IMGC

Vers un écosystème numérique

Nécessité d'outils adaptés : (Salle VR – 3DS Palais de Chaillot)





https://www.youtube.com/watch?v=isceA0BkWSc

IMGC

Conclusions

La numérisation semble indispensable pour

- **le suivi des ouvrages**
- **construire/faire évoluer les modèles de calcul**

Toutefois la construction d'écosystèmes numériques semble nécessaire pour

- **Capitaliser les observations, les mesures, les modèles**
- **Générer de la connaissance**

Encore du travail pour

- **Améliorer la prise et le traitement d'images, nuages de points**
- **Vocabulaire contrôlé/graphe de connaissance**
- **Segmenter et annoter automatiquement les images**
- **Améliorer le dialogue avec les modèles de calcul**

Merci

Les partenaires du GT-structure :























IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil