

Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires

Livio De Luca, MAP - UPR 2002 CNRS



European
Research
Council

Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires

Journées d'études du groupe de travail "données numériques" du chantier scientifique Notre-Dame de Paris
19 - 21 juin 2024, Campus CNRS Joseph Aiguier, Marseille

Introduction

Notre-Dame de Paris. Un défi, une opportunité



Un défi - un site d'études interdisciplinaires, diachroniques et heuristiques

- La récupération des connaissances sur les éléments architecturaux et les matériaux
- L'extraction des informations contenues dans les matériaux préservés
- Le couplage des systèmes de modélisation géométriques, structurelles et acoustiques
- La capture et l'analyse d'un patrimoine commun qui suscite des émotions dans la société

Une opportunité - un moment privilégié pour l'observation et l'étude

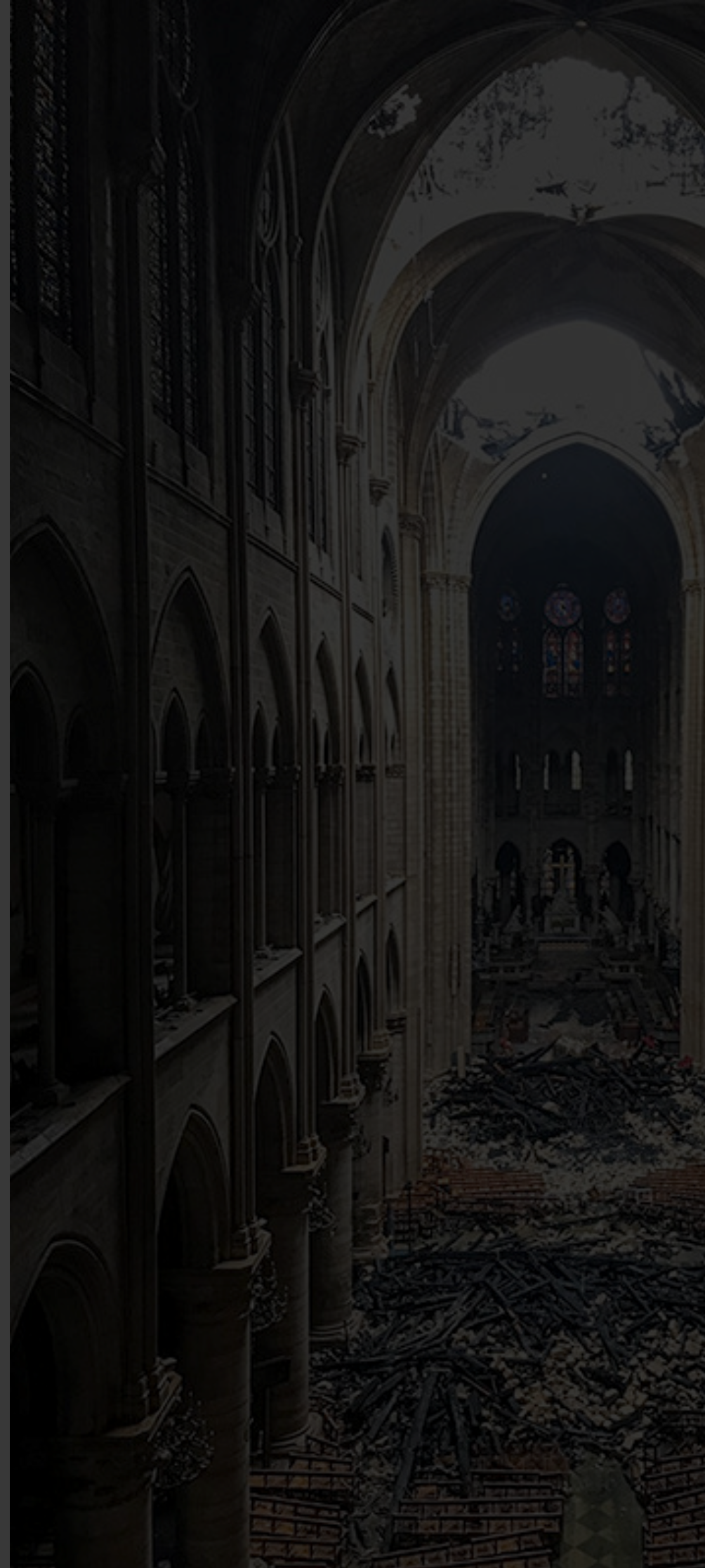
- Accès aux matériaux et aux détails techniques
- Travailler avec une rare dialectique passé-présent-futur

Chantier scientifique CNRS / Ministry of Culture

- 175 chercheurs, plus de 50 unités de recherche, 9 groupes de travail : Bois, Métal, Pierre, Verre, Décors, Structure, Acoustique, Émotions du Patrimoine et Données Numériques
- Chantier de restauration <> Chantier scientifique
- Temporalités : urgence du site <> longue période de recherche
- Nouvelles modalités de travail collaboratives
- Une entreprise collective

Introduction

Notre-Dame de Paris. Un défi, une oppo



Mercredi 19 juin

9h accueil des participants

9h15 Mots de bienvenue de la direction du labotatoire MAP – UPR 2022 CNRS

9h20 Introduction Livio De Luca (MAP–CNRS, gt num). Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires.

9h45 Session : Notre–Dame de Paris le lendemain de l'incendie : un théâtre de co–production des données pour la restauration de la cathédrale, la conservation des vestiges et la recherche scientifique

Modérateur : Thierry Zimmer (LRMH–MC)

- Dorothée Chaoui–Derieux (SRA–DRAC). Entre matériaux effondrés et vestiges, table de tri et base de données, opérations préventives et projets de recherche : itinéraire physique et sémantique d'une cathédrale de données archéologiques.
- Olivier Malavergne (LRMH–MC, gt num). La construction d'un modèle d'écosystème numérique : actions documentaires et communautés.

10h45 pause café

11h Table ronde : Une pluralité des regards sur un dénominateur commun : questions de recherche, protocoles d'études, données scientifiques

Modérateur: Olivier Malavergne (LRMH–MC, gt num)

- Intervenants : Aurélia Azéma (LRMH–MC, gt metal), Mylène Pardoën (MSH–Lyon, gt acoustique), Jean–Christophe Monferran (Héritages–MC, gt emobi)

12h30 Pause déjeuner

14h Session : Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi–échelle et multi–temporelle

Modérateur: Anthony Pamart (MAP–CNRS, gt num)

- El Moustapha Mouaddib (MIS–UPJV, gt num). Numérisations précises et caractérisation géométrique des cathédrales Notre–Dame de Paris, Amiens et Beauvais.
- Renato Saleri, *Kevin Jacquot* (ARIA–ENSA Lyon, gt num). Du relevé des voûtes à la restitution des charpentes, outils et méthodes au service de la recherche.
- Florent Comte (MAP–CNRS, gt num), Eloi Gattet (Mercurio Imaging). De l'acquisition à l'archivage : Solutions matérielles et logicielles Intégrées pour la Numérisation 3D du Patrimoine de Notre Dame

15h30 pause café

15h45 Table ronde : L'acquisition de données 3D et les traitements numériques à l'épreuve des questions de recherche : fabrication et adaptation d'outils d'acquisition, de chaînes de traitement et de supports d'analyse

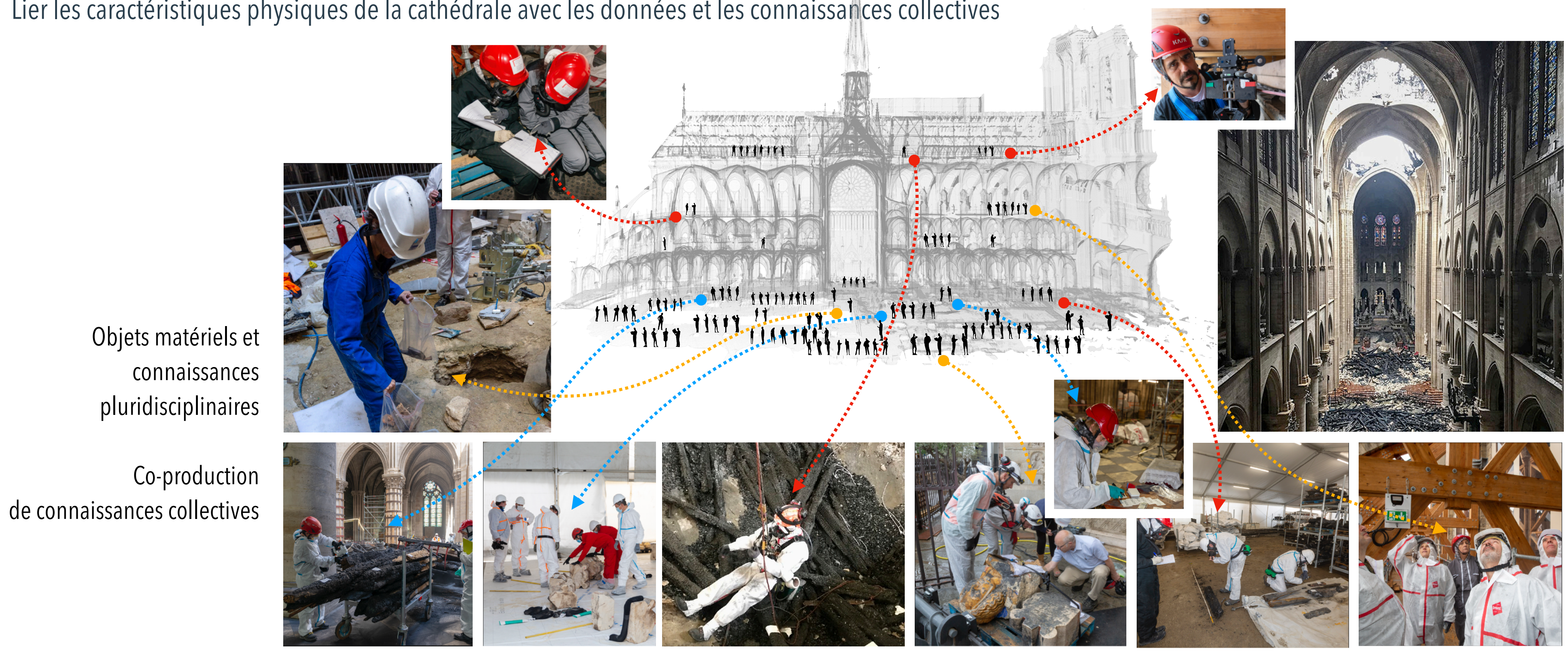
Modérateur : Livio De Luca (MAP–CNRS, gt num)

- Intervenants : Olivier Girardclos et Clara Penagos (Chrono–environnement–CNRS, gt bois), Dylan Nouzeran (IRHiS, gt pierre), Gregory Chaumet (Pleomo3D–Centre André Chastel, gt décor)

17h15 Cocktail de bienvenue

Introduction

Lier les caractéristiques physiques de la cathédrale avec les données et les connaissances collectives



Objets matériels et connaissances pluridisciplinaires

Co-production de connaissances collectives

Mémoriser ces faisceaux de regards portés sur un objet commun

Analyser leur dynamique d'interaction portant à des nouvelles connaissances

Etudier la façon dont chaque discipline, venant de son propre territoire, se confronte à l'épreuve qui traverse toutes les disciplines (B. Latour)

- Un nouveau terrain de recherche => **données multidimensionnelles et connaissances pluridisciplinaires**
- étudier les mécanismes de **co-production de connaissances en sciences du patrimoine**



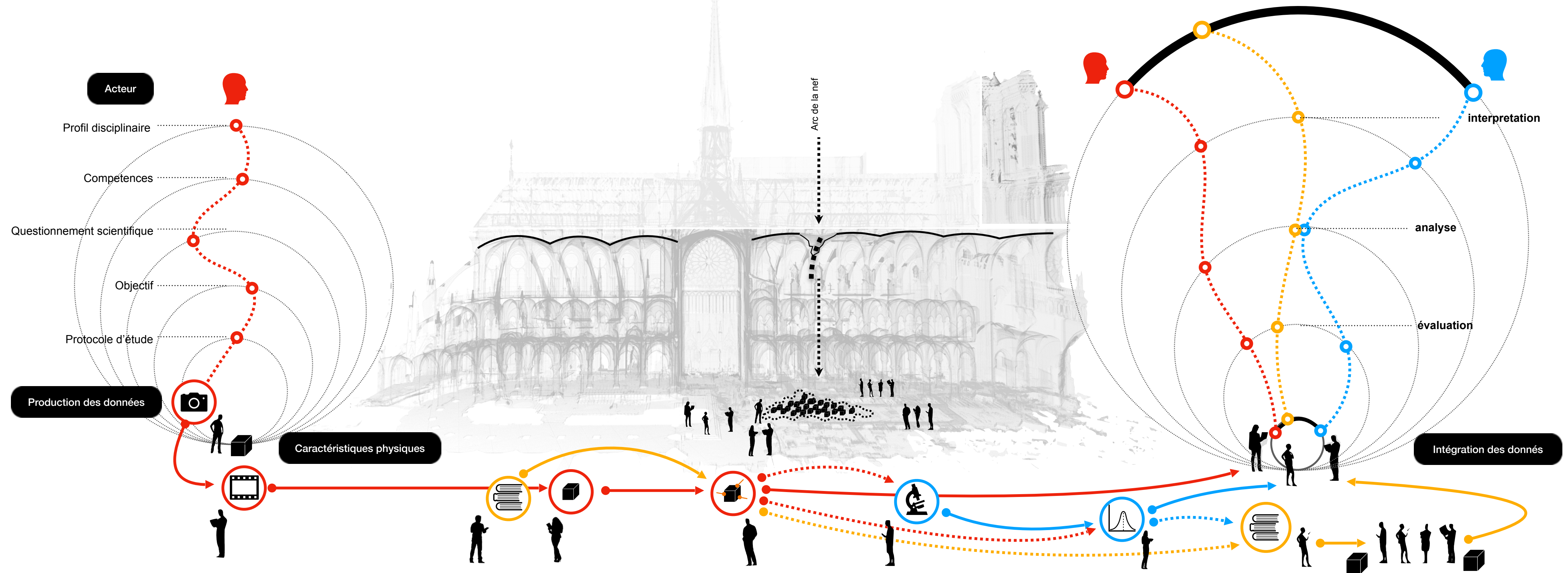
n-Dame_Heritage

n-Dimensional analysis and memorisation ecosystem for building cathedrals of knowledge in Heritage Science

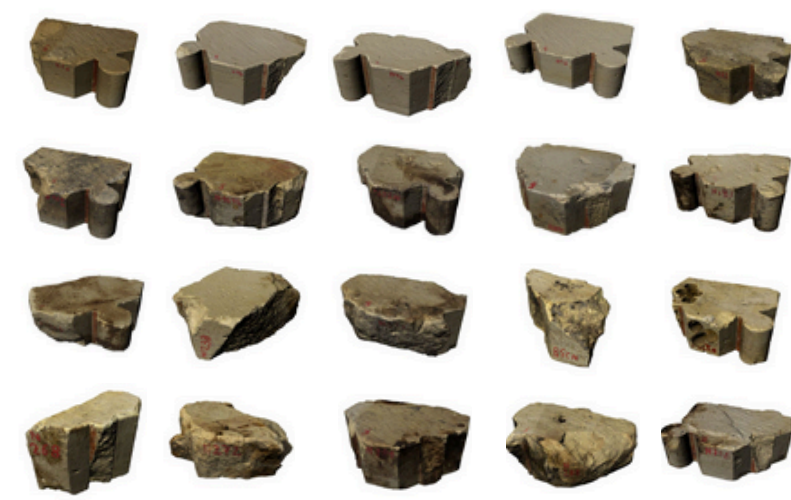
- un système **socio-technique**
- représentation évolutive de l'**objet matériel**
- une représentation structurée des **connaissances construites autour** de l'objet matériel

Un écosystème numérique

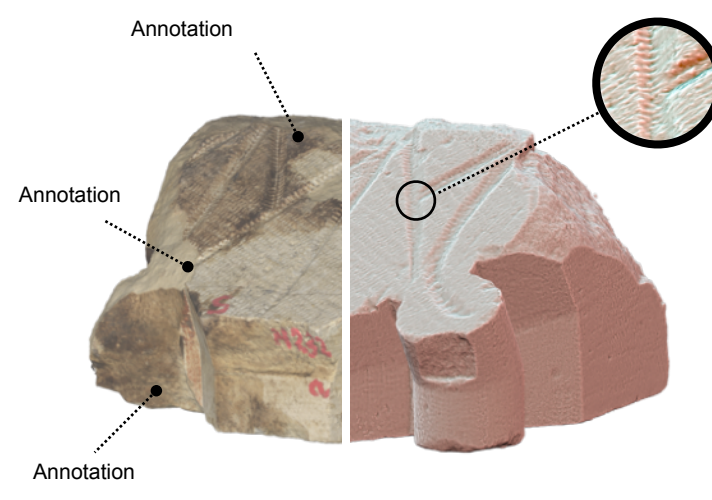
Mémoriser les chemins allant des questions scientifiques aux données, puis aux connaissances



Collecte des données



Selection d'un corpus d'éléments



Étude des caractéristiques



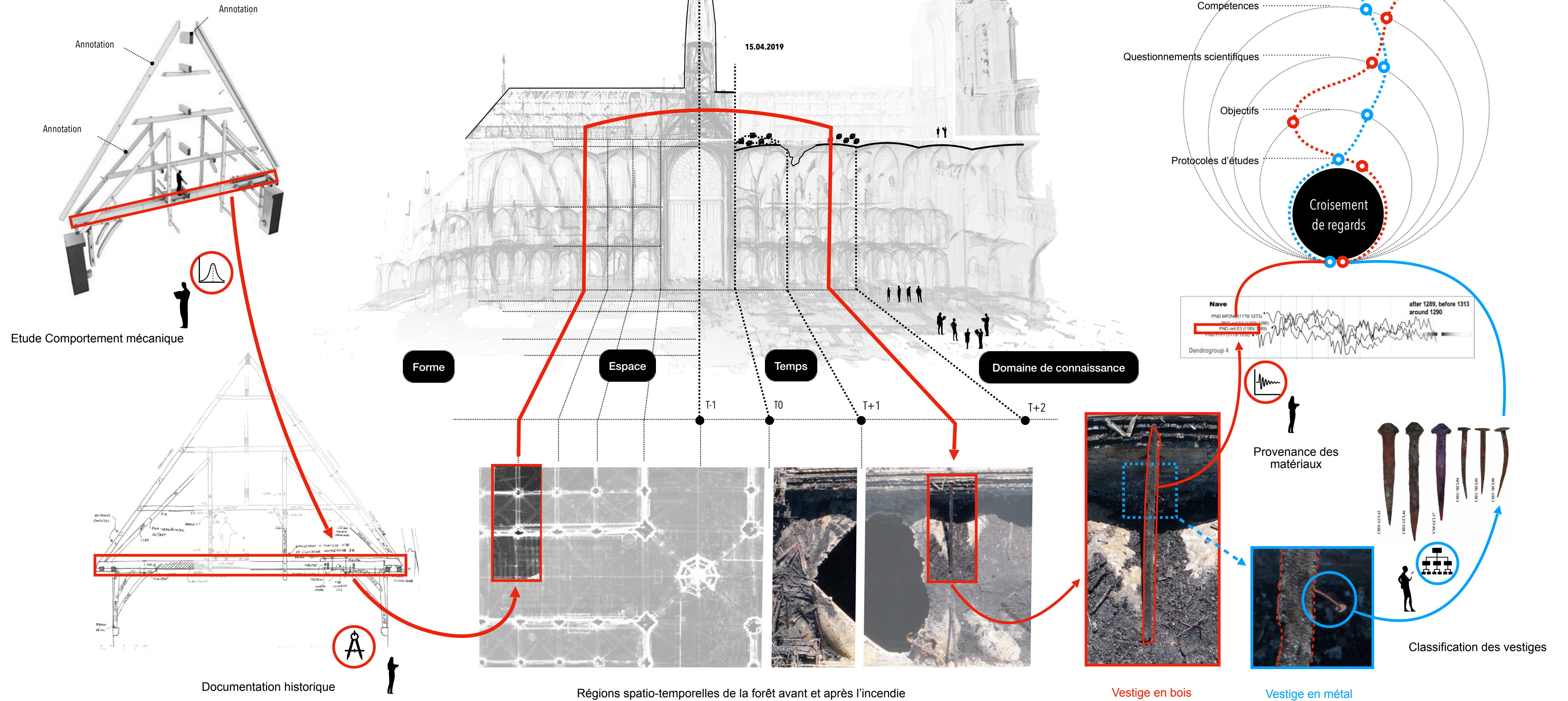
Modélisation numérique d'une hypothèse



Remontage à blanc

Un écosystème numérique

Analyser les liens entre objets matériels et objets de connaissance



Le corpus

Ressources numériques pour documenter les chantiers en cours et pour expérimenter l'intégration, l'analyse et la corrélation de données

Avant incendie

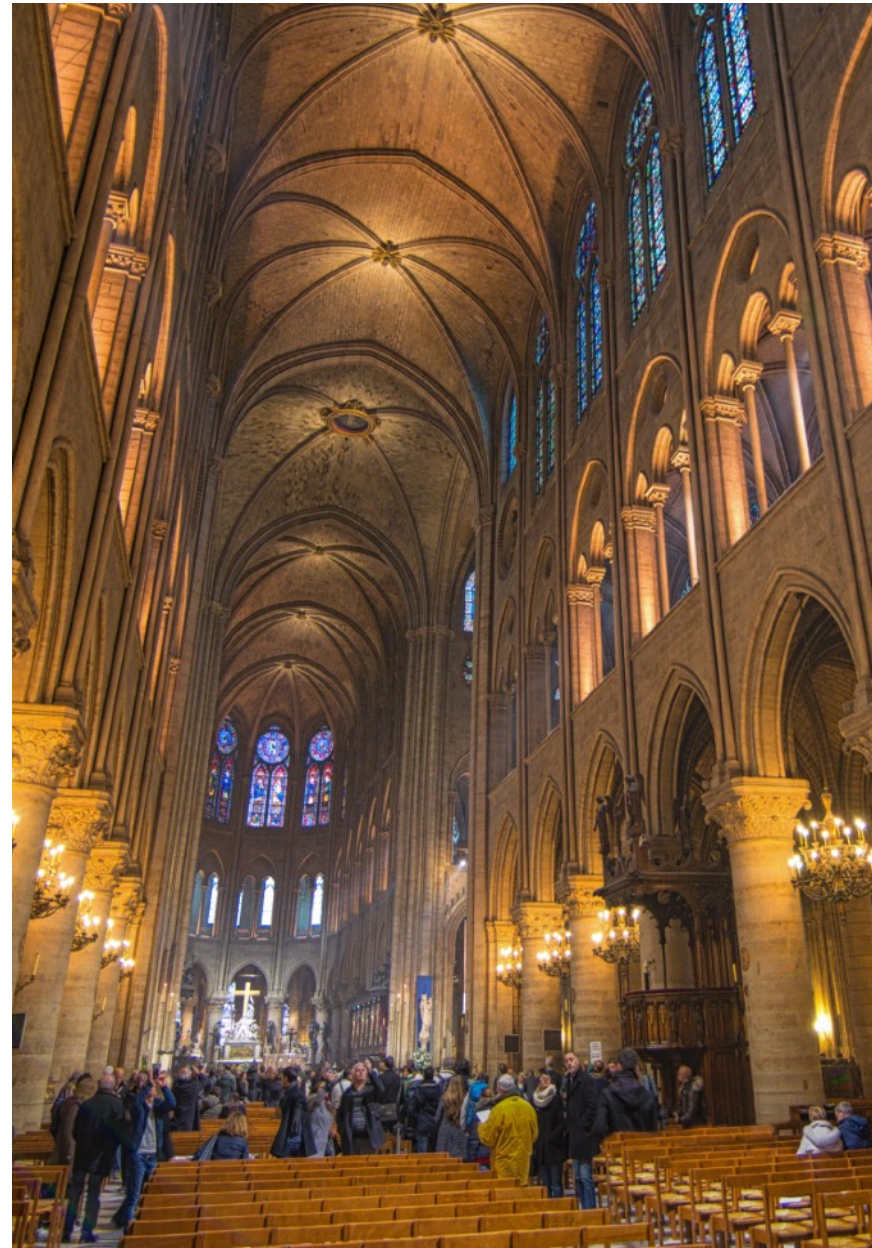
15 April, 2019

Recuperation des vestiges

Identification et Inventorisation

Conservation temporaire

Etude scientifique



Données collectées auprès d'institutions culturelles, laboratoires de recherche et entreprises

- + 200.000 photographies (avant et après l'incendie, pendant la restauration)
- + 5000 nuages de points laser 3D (avant et après l'incendie, pendant la restauration)
- + 300 dessins techniques (avant et après l'incendie)
- + 5000 sources documentaires (archives, bibliographie, iconographie) concernant l'histoire de la cathédrale.

Données produites par le chantier scientifique Notre-Dame

- GT Matériaux (Pierre, Métal, Bois, Verre, Décors) : bibliographie, analyses de matériaux, études techniques, dessins, photographies, ...
- GT Structure et Acoustique : analyses de matériaux, acquisitions acoustiques, simulations mécaniques et acoustiques, ...
- GT Émotions Patrimoniales : ressources presse et web, interviews, documentaires vidéo, enquêtes citoyennes, ...
- GT Données Numériques : numérisations 3D multi-échelles (de l'architecture aux vestiges), reconstructions 3D d'états hypothétiques, ...

Charte du CNRS et du Ministère de la Culture pour le dépôt et l'utilisation des données

Les données produites seront disponibles en accès libre conformément aux dispositions de la licence Etalab 2.0 à partir de 2025

Un travail à l'interface : objets matériels, domaines de connaissance, objectifs de recherche, champs disciplinaires

Objets matériels	Domaines de connaissance	Objectifs d'étude	Acteurs	Groupes de travail	Discipline	
Cathédrale (extérieur, intérieur)	Maçonnerie, stabilité, décor peint, réseaux électriques, histoire des restaurations antérieures	Figures d'altération / diagnostic / interventions projetées	Philippe Villeneuve	Maitrise d'Oeuvre	Architecture	
			Pascal Prunet	Maitrise d'Oeuvre	Architecture	
			Rémi Fromont	Maitrise d'Oeuvre	Architecture	
	Mathias Fantin/Carlo Blasi		Maitrise d'Oeuvre	Ingénierie Civile		
	anthropologie	Une ethnographie visuelle et participative du chantier de restauration	Auscultation radar des voutes et des murs	Jean-Luc GARCIAZ	LERM	Science des matériaux
			Etude stratigraphique des décors	Delphine Burgart	PARANT-ANDALORO	Restauration
Gaspard Salatko			Emotions patrimoniales	Antropologie		
			Jean-Christophe Monferran	Emotions patrimoniales	Ethnographie	
Couvertures Échantillons de matériaux Restes Détails techniques Éléments constructifs Cadres structurels	Matériaux, archéologie, architecture, ingénierie, études environnementales	Techniques de charpenterie du Moyen Âge et du XIXe siècle	Bernard Thibaut	Bois et charpentes	Archéologie	
			Sabine Caré	Bois et charpentes	Science des matériaux	
		Climat et époque médiévaux	Valérie Daux	Bois et charpentes	Chimie	
			Lucile Beck	Bois et charpentes	Physique-Chimie	
		Squelette en fer des éléments constructifs	Maxime L'Héritier	Metal	Archéométrie	
			Aurélia Azéma	Metal	Chimie	
		Repositionnement et datation des restes de bois	Olivier Girardclos	Bois et charpentes	Archéométrie	
			Jean-Yves Hunot	Bois et charpentes	Archéologie	
			Alexa Dufraisse	Bois et charpentes	Biologie	
			Kevin Jacquot	Données numériques	Architecture	
Restes des couvertures (bois et métal)	Matériaux, archéologie, comportements structurels	Mécanique des structures et technologies médiévales	Nicolas Sauvat	structure	Ingénierie Civile	
			Philippe Galimard	structure	Ingénierie Mécanique	
Voûtes (et vestiges) Structures existantes Vitreaux	Matériaux, archéologie,	Chronologie des arcs et voûtes effondrés	Cédric Moulis	Pierre et mortiers	Archéologie	
			Bruno Phalip	Pierre et mortiers	Archéologie	
		Processus de construction des voûtes gothiques	Elise Baillieux	Pierre et mortiers	Histoire de l'art	
			Dorothee Chaoui-Derieux	DRAC-SRA	Archéologie	
		Caractérisation physico-chimique des échantillons de mortier	Lise Leroux	Pierre et mortiers	Géologie	
			Jean-Michel Mechling	Pierre et mortiers	Ingénierie matériaux	
		Utilisation du plomb et pratiques des plombiers	Maxime L'Héritier	metal	Archéométrie	
			Guillaume Sarah	metal	Chimie	
			Aurélia Azéma	metal	Chimie	
		Voûtes de la nef, du chœur, de la croisée et du transept	Comportements structurels et acoustiques	Analyse structurelle des voûtes	Maurizio Brocato	Structure
Frédéric Dubois	Structure				Ingénierie Mécanique	
Stephane Morel	Structure				Ingénierie civile	
Mémoire sonore de l'acoustique de Notre-Dame avant l'incendie	Julien De Mynke			Acoustique	Acoustique	
	Marie Baltazar			Acoustique	Anthropologie	
	Brian Katz			Acoustique	Physique	

Objets matériels
Cathédrale (extérieur, intérieur)
Couvertures Échantillons de matériaux Restes Détails techniques Éléments constructifs Cadres structurels
Restes des couvertures (bois et métal)
Voûtes (et vestiges) Structures existantes Vitreaux
Voûtes de la nef, du chœur, de la croisée et du transept

Mercredi 19 juin

9h accueil des participants

9h15 Mots de bienvenue de la direction du laboratoire MAP - UPR 2022 CNRS

9h20 Introduction Livio De Luca (MAP-CNRS, gt num). Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires.

9h45 Session : Notre-Dame de Paris le lendemain de l'incendie : un théâtre de co-production des données pour la restauration de la cathédrale, la conservation des vestiges et la recherche scientifique

Modérateur : Thierry Zimmer (LRMH-MC)

- Dorothee Chaoui-Derieux (SRA-DRAC). Entre matériaux effondrés et vestiges, table de tri et base de données, opérations préventives et projets de recherche : itinéraire physique et sémantique d'une cathédrale de données archéologiques.
- Olivier Malavergne (LRMH-MC, gt num). La construction d'un modèle d'écosystème numérique : actions documentaires et communautés.

10h45 pause café

11h Table ronde : Une pluralité des regards sur un dénominateur commun : questions de recherche, protocoles d'études, données scientifiques

Modérateur: Olivier Malavergne (LRMH-MC, gt num)

- Intervenants : Aurélia Azéma (LRMH-MC, gt metal), Mylène Pardoën (MSH-Lyon, gt acoustique), Jean-Christophe Monferran (Héritages-MC, gt emobi)

12h30 Pause déjeuner

14h Session : Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi-échelle et multi-temporelle

Modérateur: Anthony Pamart (MAP-CNRS, gt num)

- El Moustapha Mouaddib (MIS-UPJV, gt num). Numérisations précises et caractérisation géométrique des cathédrales Notre-Dame de Paris, Amiens et Beauvais.
- Renato Saleri, Kevin Jacquot (ARIA-ENSA Lyon, gt num). Du relevé des voûtes à la restitution des charpentes, outils et méthodes au service de la recherche.
- Florent Comte (MAP-CNRS, gt num), Eloi Gattet (Mercurio Imaging). De l'acquisition à l'archivage : Solutions matérielles et logicielles Intégrées pour la Numérisation 3D du Patrimoine de Notre Dame

15h30 pause café

15h45 Table ronde : L'acquisition de données 3D et les traitements numériques à l'épreuve des questions de recherche : fabrication et adaptation d'outils d'acquisition, de chaînes de traitement et de supports d'analyse

Modérateur : Livio De Luca (MAP-CNRS, gt num)

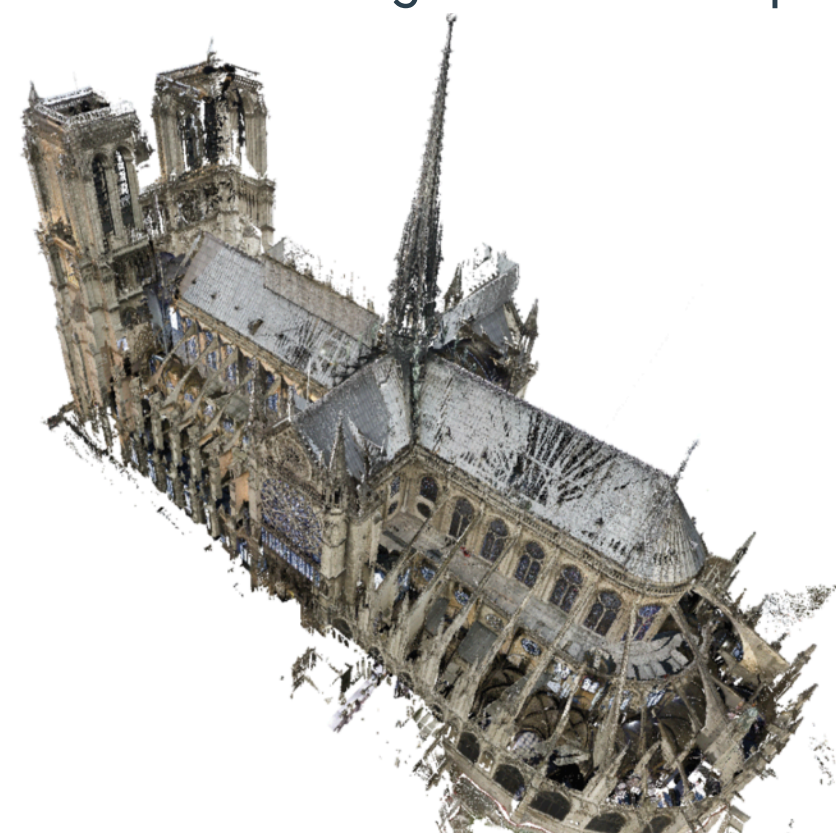
- Intervenants : Olivier Girardclos et Clara Penagos (Chrono-environnement-CNRS, gt bois), Dylan Nouzeran (IRHiS, gt pierre), Gregory Chaumet (Pleomo3D-Centre André Chastel, gt décor)

17h15 Cocktail de bienvenue

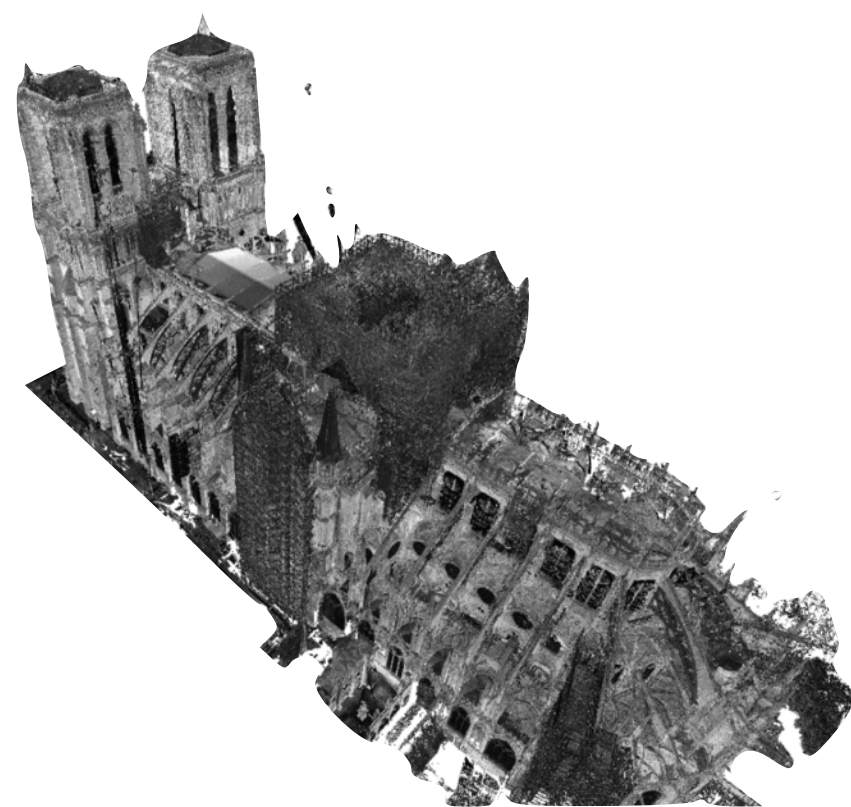
	Groupes de travail	Discipline
	Maitrise d'Oeuvre	Architecture
	Maitrise d'Oeuvre	Architecture
	Maitrise d'Oeuvre	Architecture
asi	Maitrise d'Oeuvre	Ingénierie Civile
	LERM	Science des matériaux
	PARANT-ANDALORO	Restauration
	Emotions patrimoniales	Anthropologie
rran	Emotions patrimoniales	Ethnographie
	Bois et charpentes	Archéologie
	Bois et charpentes	Science des matériaux
	Bois et charpentes	Chimie
	Bois et charpentes	Physique-Chimie
	Metal	Archéométrie
	Metal	Chimie
	Bois et charpentes	Archéométrie
	Bois et charpentes	Archéologie
	Bois et charpentes	Biologie
	Données numériques	Architecture
	structure	Ingénierie Civile
	structure	Ingénierie Mécanique
	Pierre et mortiers	Archéologie
	Pierre et mortiers	Archéologie
	Pierre et mortiers	Histoire de l'art
eux	DRAC-SRA	Archéologie
	Pierre et mortiers	Géologie
	Pierre et mortiers	Ingénierie matériaux
	metal	Archéométrie
	metal	Chimie
	metal	Chimie
	Structure	Ingénierie civile
	Structure	Ingénierie Mécanique
	Structure	Ingénierie civile
	Acoustique	Acoustique
	Acoustique	Anthropologie
	Acoustique	Physique

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

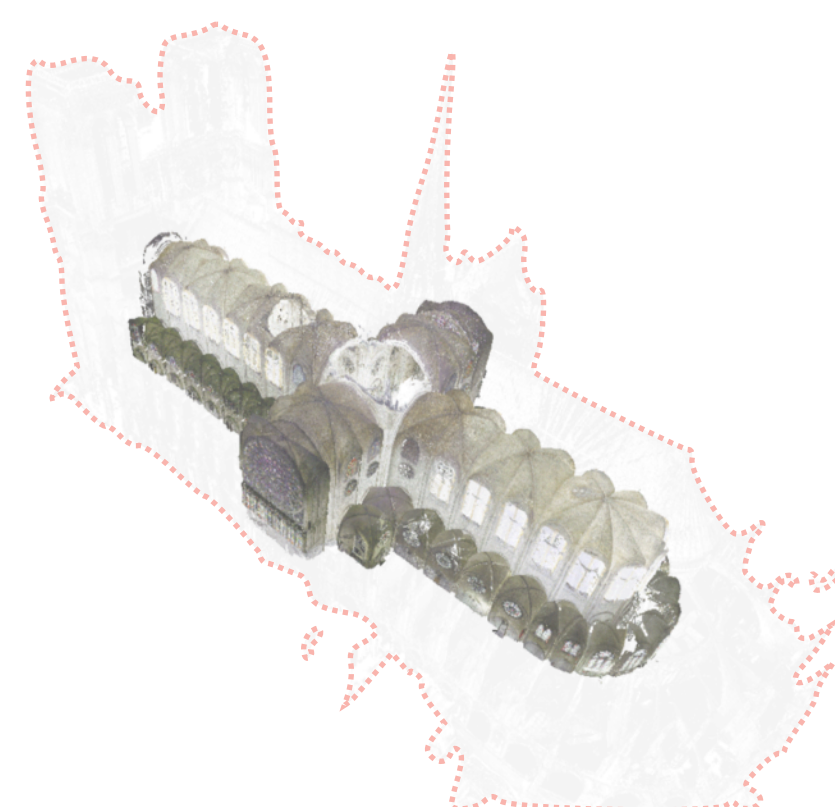
La cathédrale : Intégration et comparaison des relevés



Avant incendie



Après incendie

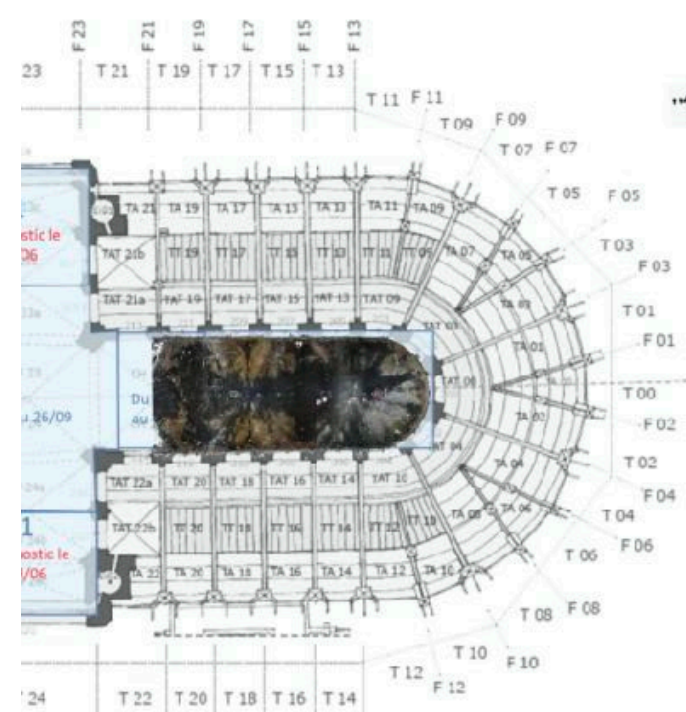


En cours de restauration

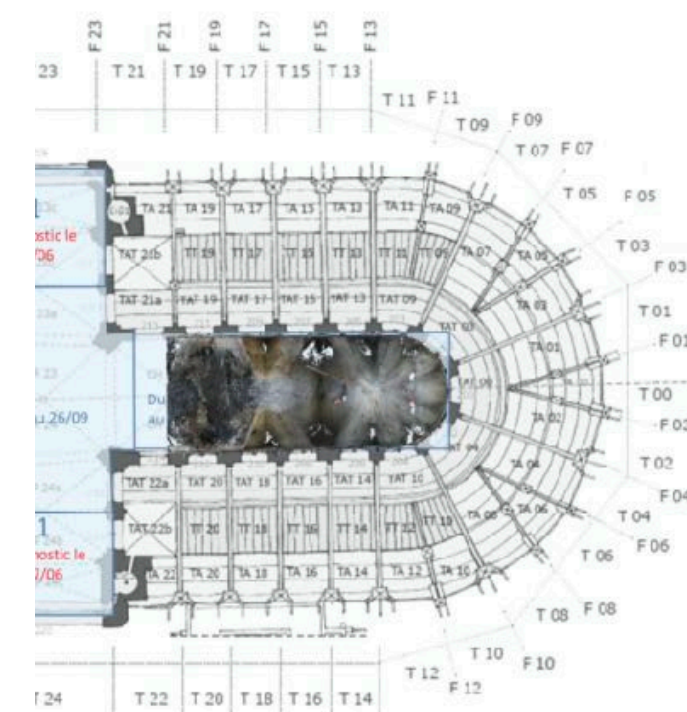
- Intégration des relevés laser avant et après l'incendie.
- Exploration de plusieurs méthodes de comparaison (nuages de points / photogrammétrie / orthoimages 2.5D multicouches).
- Développement d'un outil d'ICP adaptatif pour une analyse précise des déformations.



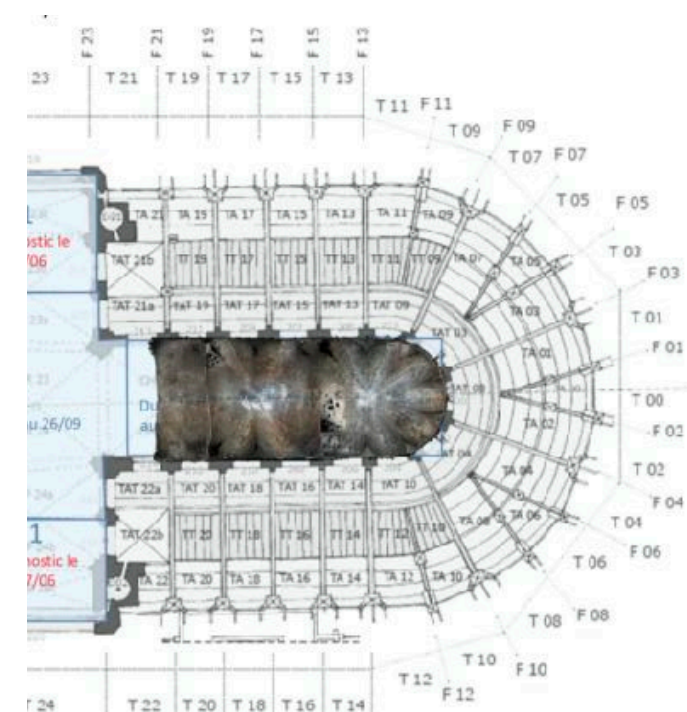
Mouaddib E M., Pamart A., Pierrot-Deseilligny M., Girardeau-Montaut D. 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. Journal of Cultural Heritage, 2023.



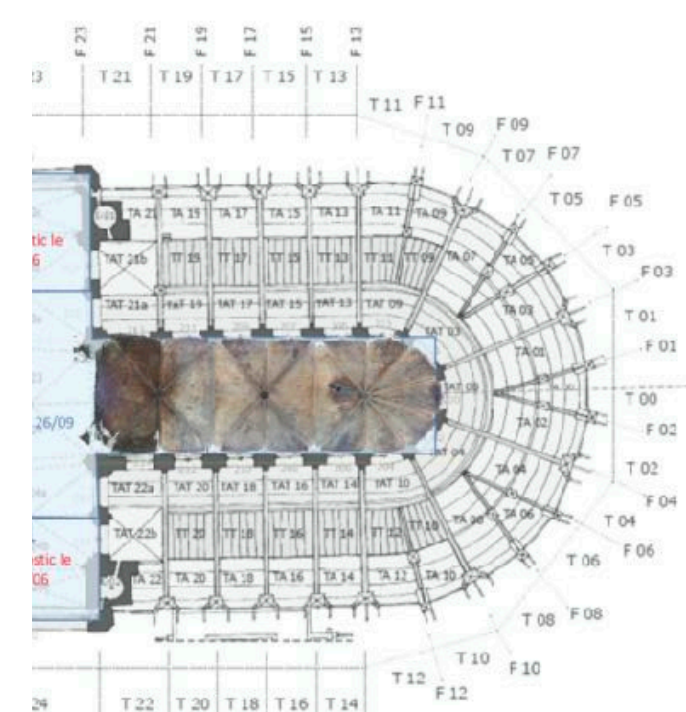
Avant récupération des vestiges



Pendant récupération des vestiges



Après récupération des vestiges



- Numérisation 4D (récupération des vestiges)
- Dispositifs robotisé ad-hoc basé sur un cable-cam.
- Acquisition par drone de l'intrados des voûtes.

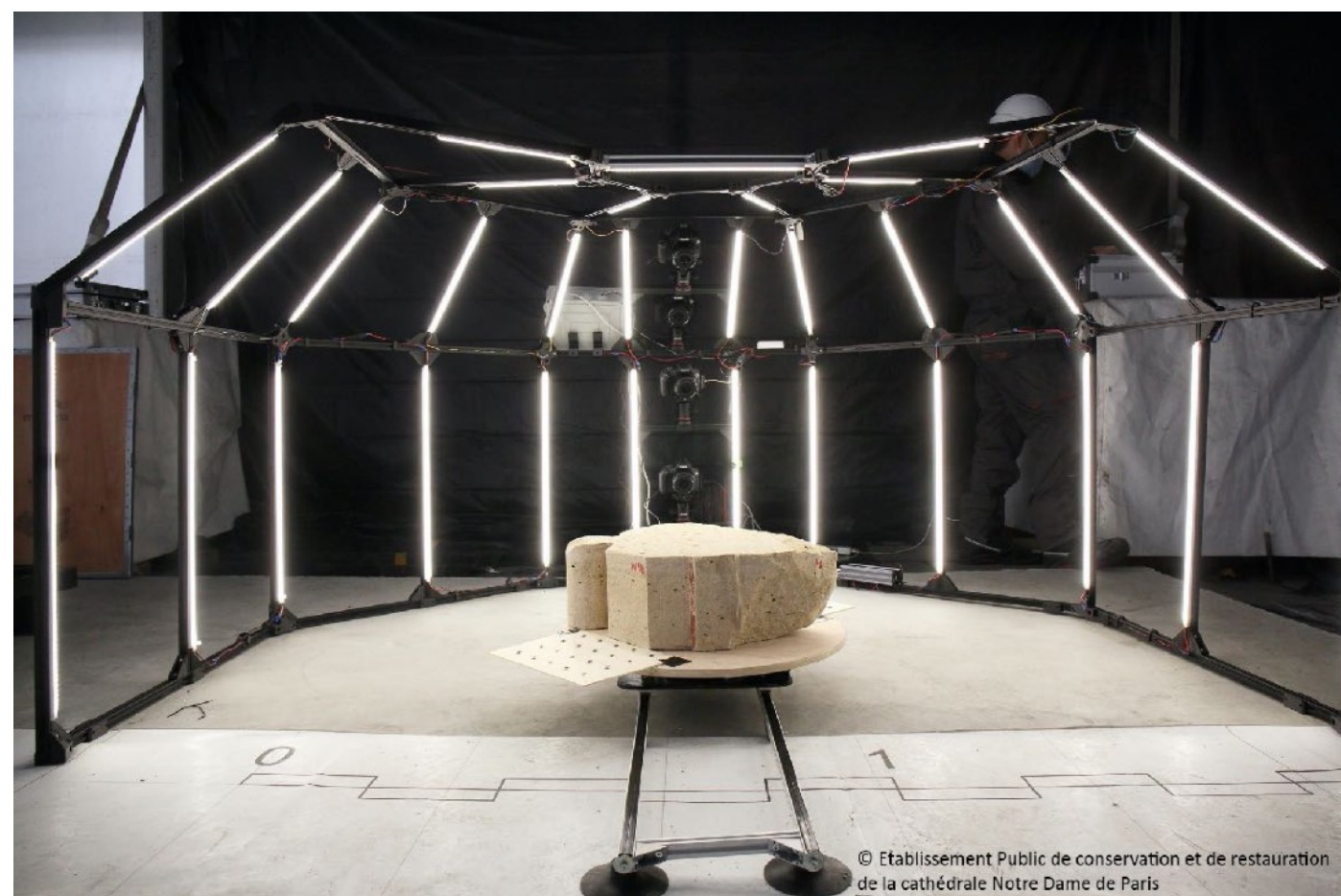


Kévin Jacquot, Renato Saleri. Gathering, integration, and interpretation of heterogeneous data for the virtual reconstruction of the Notre Dame de Paris roof structure. Journal of Cultural Heritage, 2023.

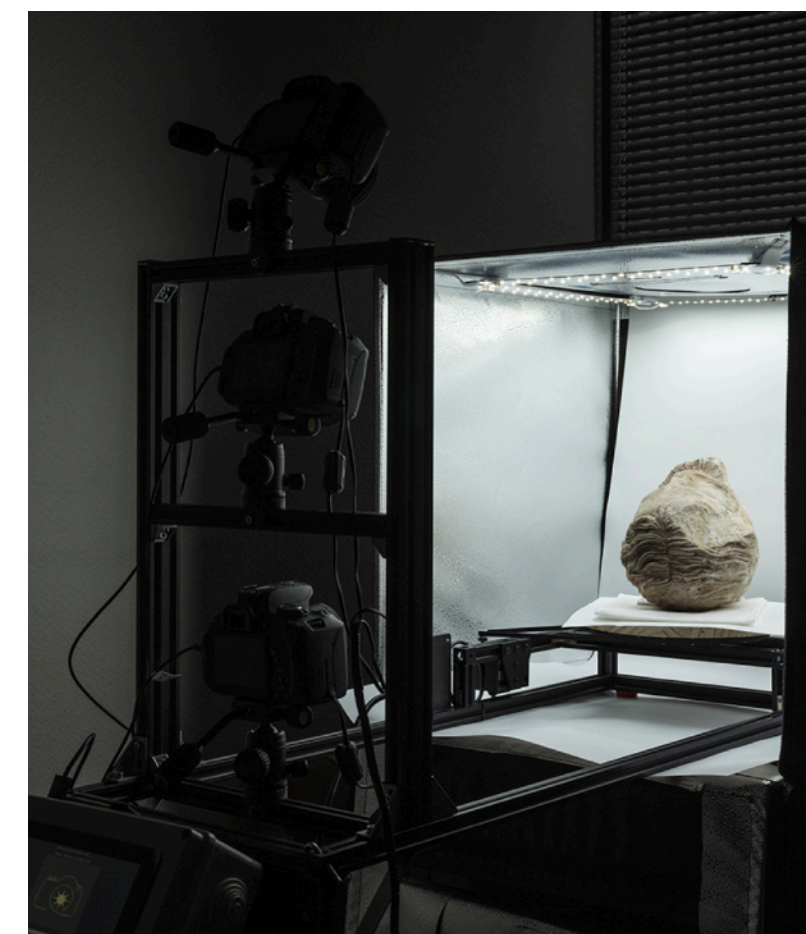
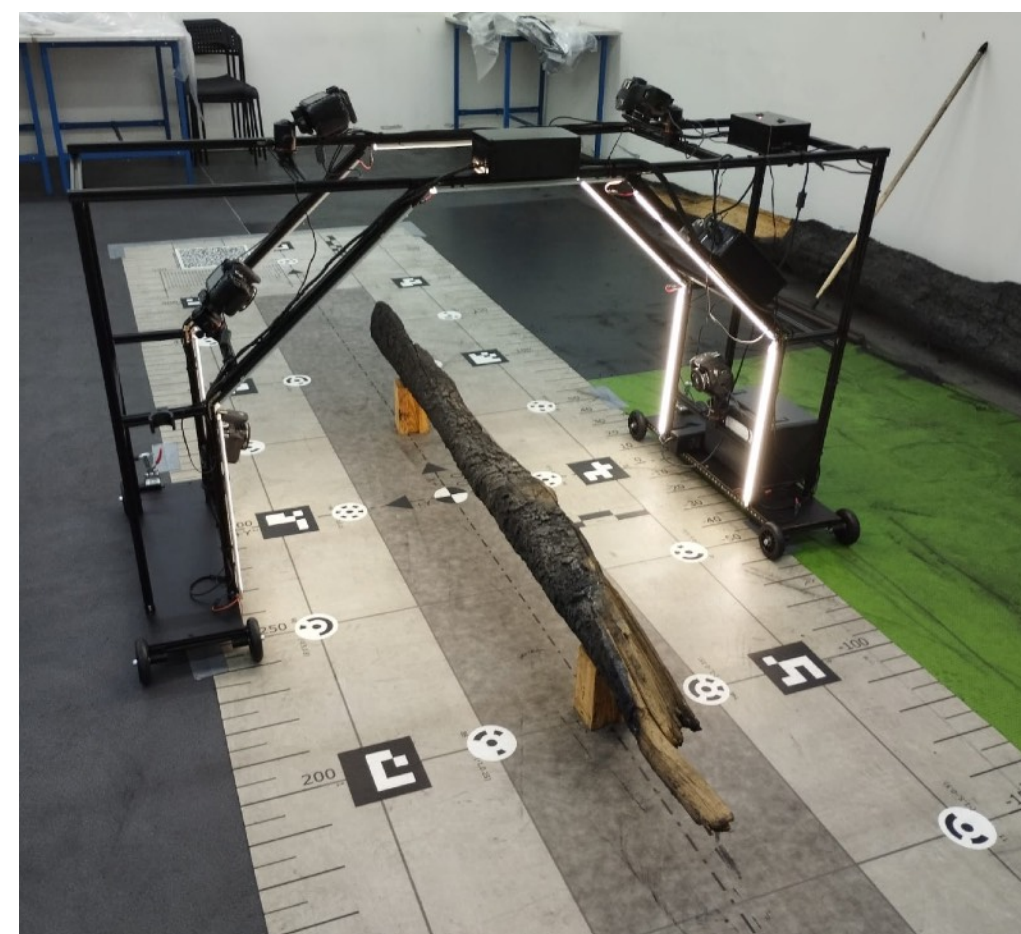


Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi-échelle et multi-temporelle

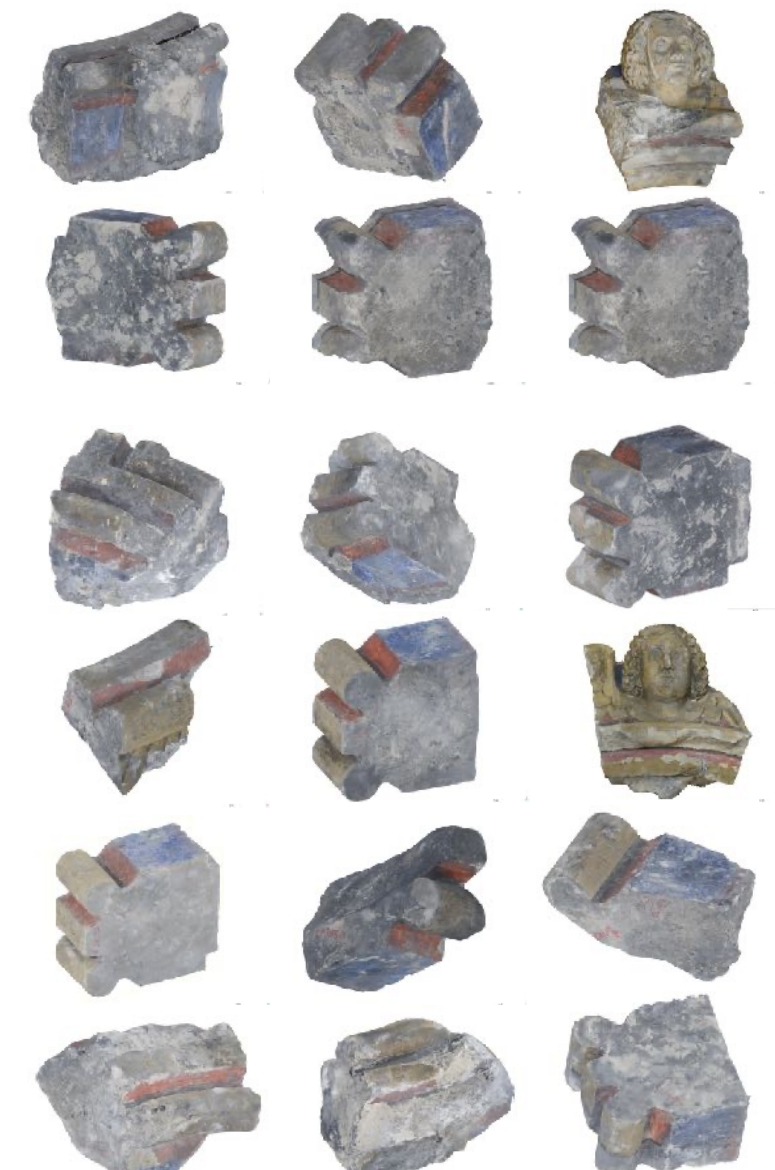
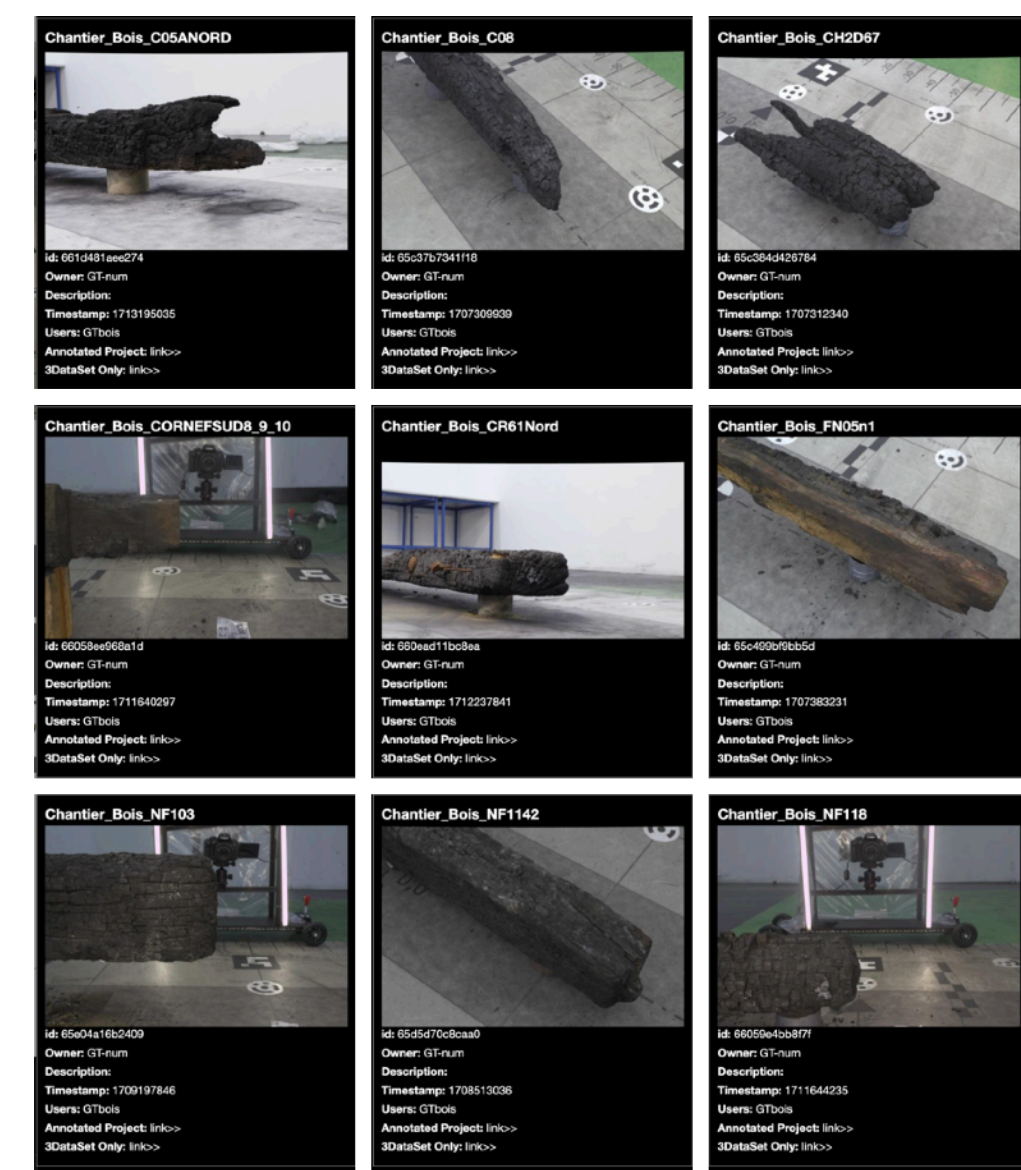
Les vestiges : protocoles d'acquisition et traitement des données massives



© Etablissement Public de conservation et de restauration de la cathédrale Notre Dame de Paris



- Numérisation 3D pour analyse morphologique de collections
- Harmonisation et optimisation des protocoles : temps d'acquisition et de traitement, ressources de calcul et de stockage, gestion du flux des données.
- Conception de dispositifs d'acquisition (exclusivement basés sur photos) ad-hoc, en fonction des caractéristiques morphologiques des vestiges et des besoins d'analyse.



Comte F., Pamart A., Réby K., De Luca L. Strategies and Experiments for Massive 3D Digitalization of the Remains After the Notre-Dame de Paris' Fire. 10th International Workshop 3D-ARCH, Siena, 2024

Corpus des numérisations 3D

- 106 vestiges en bois
- 22 agrafes en métal
- 82 claveaux de l'arc doubleau
- 39 fragments de l'oculus

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

Les vestiges : protocoles d'acquisition et de traitement



Mercredi 19 juin

9h accueil des participants

9h15 Mots de bienvenue de la direction du laboratoire MAP – UPR 2022 CNRS

9h20 Introduction Livio De Luca (MAP–CNRS, gt num). Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires.

9h45 Session : Notre–Dame de Paris le lendemain de l'incendie : un théâtre de co–production des données pour la restauration de la cathédrale, la conservation des vestiges et la recherche scientifique

Modérateur : Thierry Zimmer (LRMH–MC)

- Dorothee Chaoui–Derieux (SRA–DRAC). Entre matériaux effondrés et vestiges, table de tri et base de données, opérations préventives et projets de recherche : itinéraire physique et sémantique d'une cathédrale de données archéologiques.
- Olivier Malavergne (LRMH–MC, gt num). La construction d'un modèle d'écosystème numérique : actions documentaires et communautés.

10h45 pause café

11h Table ronde : Une pluralité des regards sur un dénominateur commun : questions de recherche, protocoles d'études, données scientifiques

Modérateur: Olivier Malavergne (LRMH–MC, gt num)

- Intervenants : Aurélia Azéma (LRMH–MC, gt metal), Mylène Pardoën (MSH–Lyon, gt acoustique), Jean–Christophe Monferran (Héritages–MC, gt emobi)

12h30 Pause déjeuner

14h Session : Des objets matériels aux données numériques : enjeux de numérisation multi–échelle et multi–temporelle

Modérateur: Anthony Pamart (MAP–CNRS, gt num)

- El Moustapha Mouaddib (MIS–UPJV, gt num). Numérisations précises et caractérisation géométrique des cathédrales Notre–Dame de Paris, Amiens et Beauvais.
- Renato Saleri, Kevin Jacquot (ARIA–ENSA Lyon, gt num). Du relevé des voûtes à la restitution des charpentes, outils et méthodes au service de la recherche.
- Florent Comte (MAP–CNRS, gt num), Eloi Gattet (Mercurio Imaging). De l'acquisition à l'archivage : Solutions matérielles et logicielles Intégrées pour la Numérisation 3D du Patrimoine de Notre Dame

15h30 pause café

15h45 Table ronde : L'acquisition de données 3D et les traitements numériques à l'épreuve des questions de recherche : fabrication et adaptation d'outils d'acquisition, de chaînes de traitement et de supports d'analyse

Modérateur : Livio De Luca (MAP–CNRS, gt num)

- Intervenants : Olivier Girardclos et Clara Penagos (Chrono–environnement–CNRS, gt bois), Dylan Nouzeran (IRHiS, gt pierre), Gregory Chaumet (Pleomo3D–Centre André Chastel, gt décor)

17h15 Cocktail de bienvenue

- Numérisation 3D pour analyse morphologique de collections
- Harmonisation et optimisation des protocoles : temps d'acquisition et de traitement, ressources de calcul et de stockage, gestion du flux des données.
- Conception de dispositifs d'acquisition (exclusivement basés sur photos) ad-hoc, en fonction des caractéristiques morphologiques des vestiges et des besoins d'analyse.



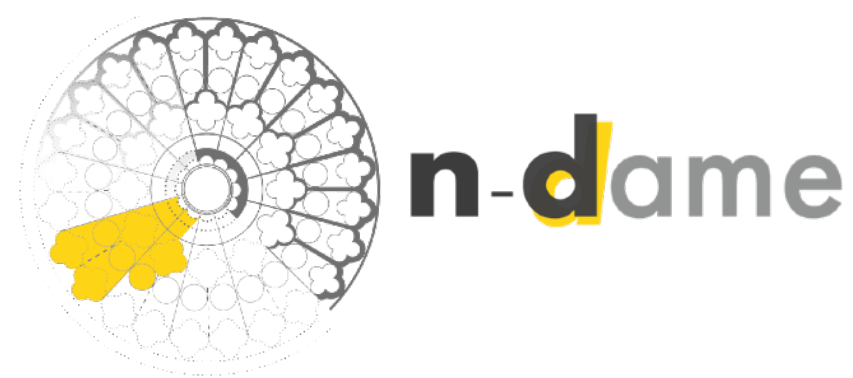
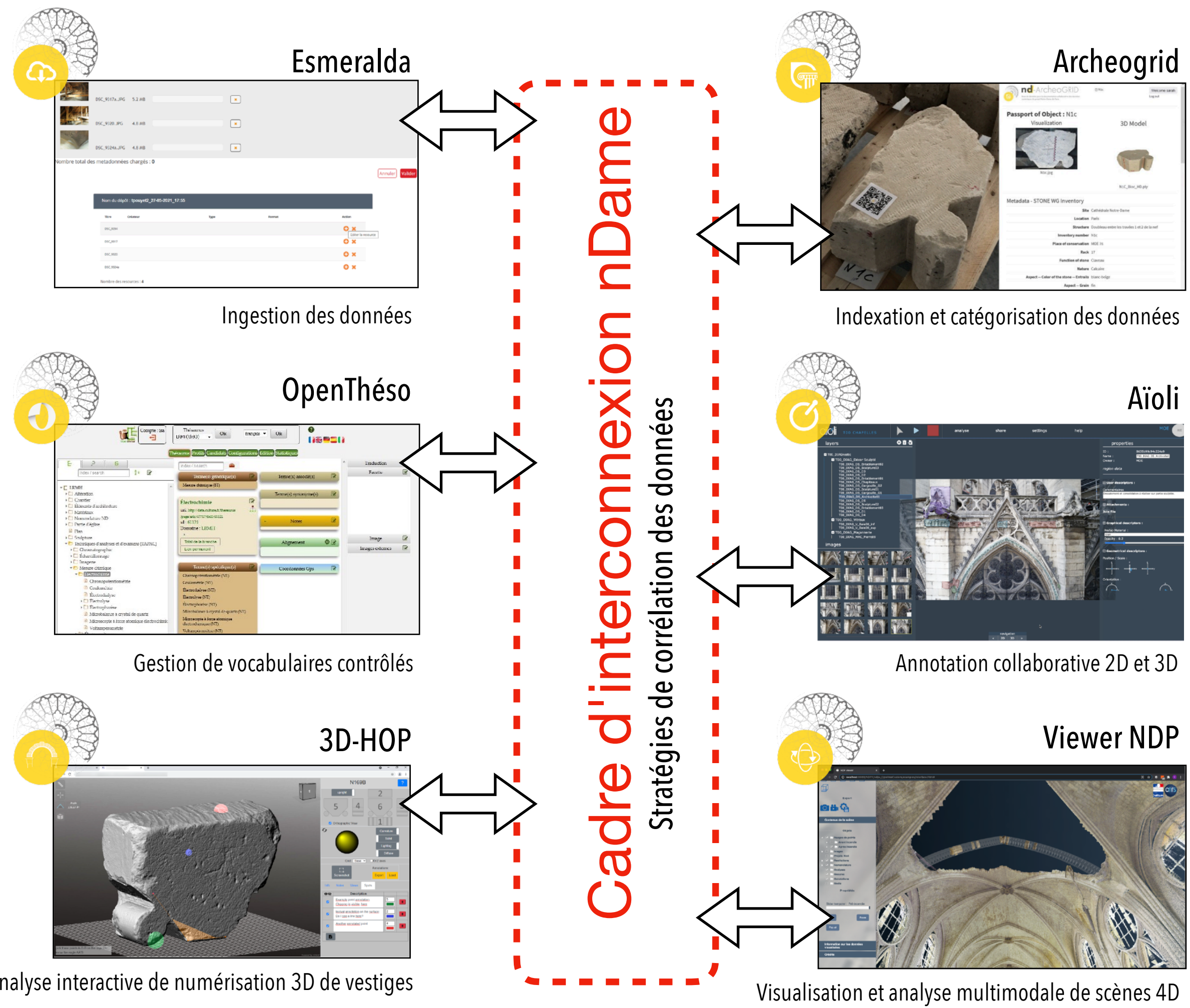
Comte F., Pamart A., Réby K., De Luca L. Strategies and Experiments for Massive 3D Digitalization of the Remains After the Notre-Dame de Paris' Fire. 10th International Workshop 3D-ARCH, Siena, 2024

Corpus des numérisations 3D

- 106 vestiges en bois
- 22 agrafes en métal
- 82 claveaux de l'arc doubleau
- 39 fragments de l'oculus

Infrastructure partenariale et technologique

Une plateforme logicielle pour centraliser, enrichir et spatialiser des données hétérogènes



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

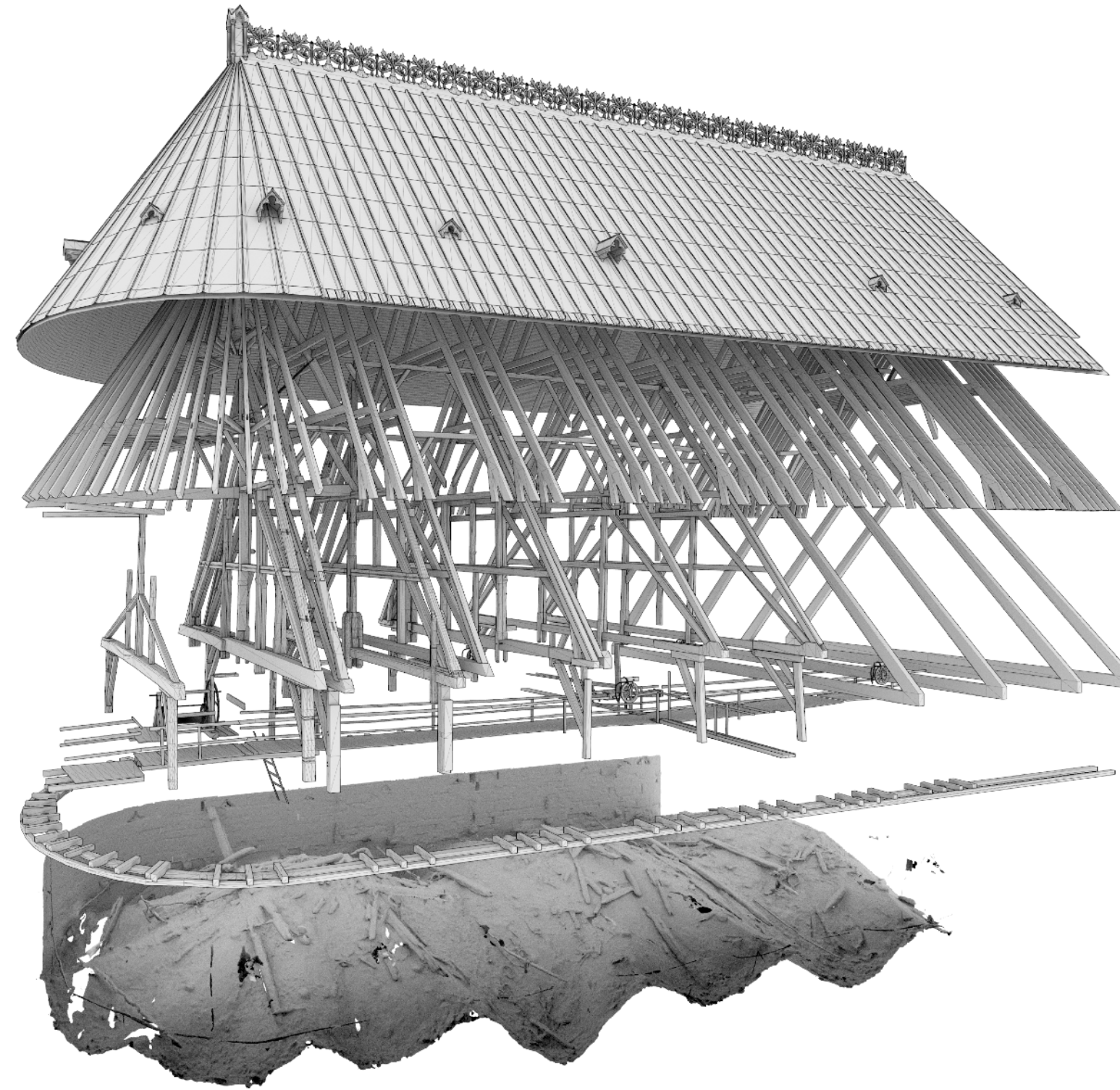
Entièrement basé sur technologies Web



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"



Un travail à l'interface : objets matériels, domaines de connaissance, objectifs de recherche, champs disciplinaires



@CNRS-Imag

Un travail à l'interface : objets matériels, domaines de connaissance, objectifs de recherche, champs disciplinaires

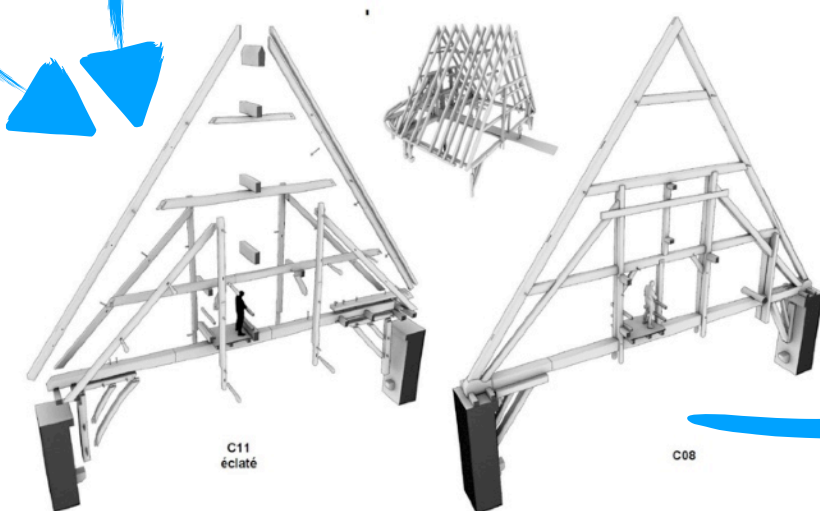
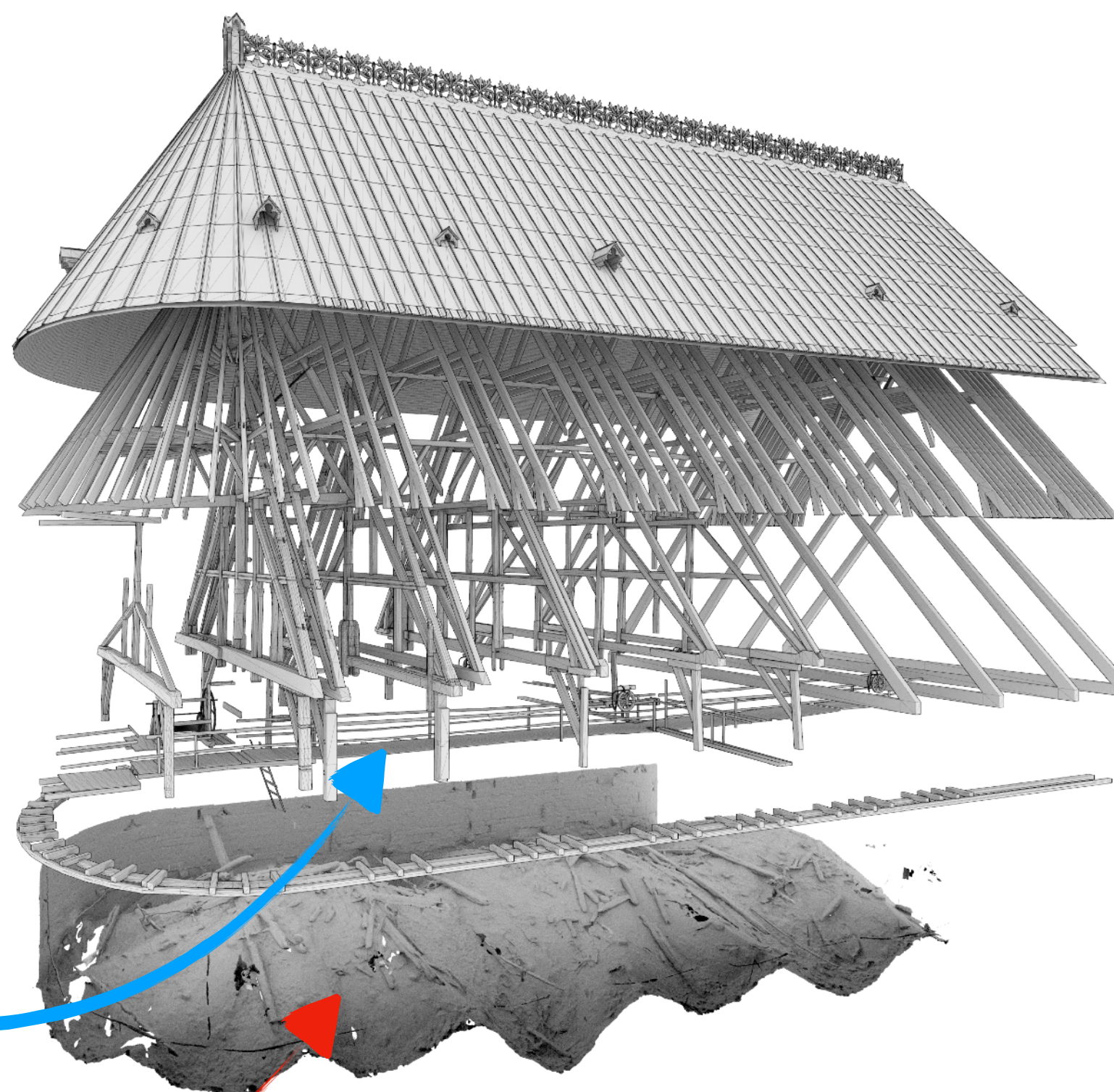
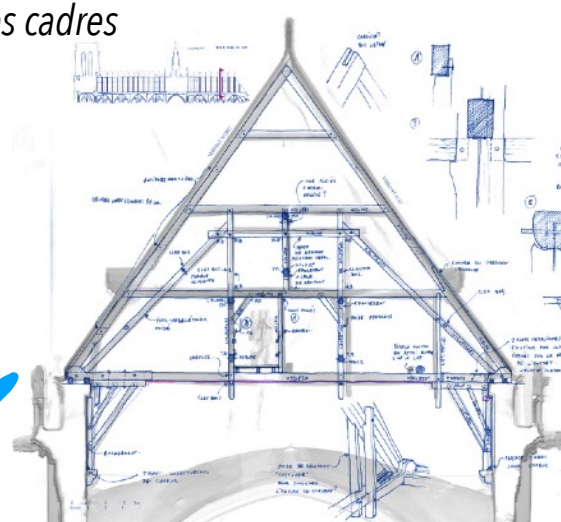
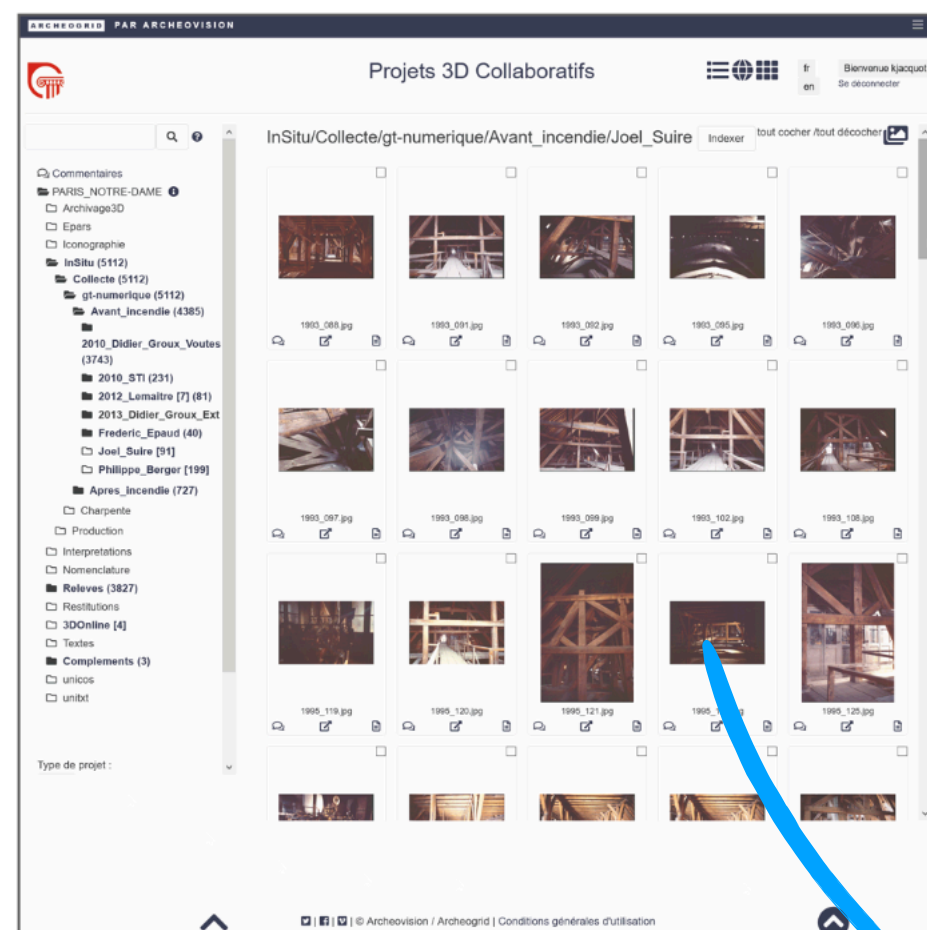


Archeogrid

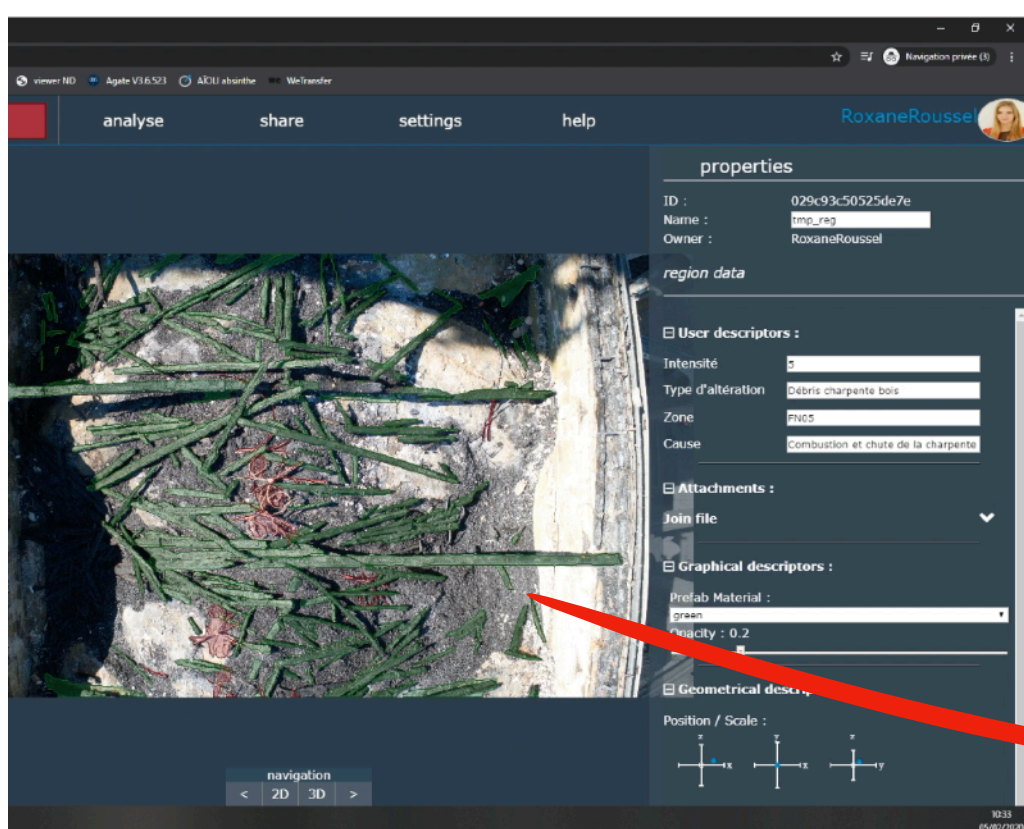
Indexation des données

Ressources documentaires (avant incendie)

- 1 nuage de points épars
- 1 relèvement topographique
- 2 coupes transversales
- 26 élévations des cadres
- 3500 photos



Restitution géométrique des charpentes



Annotation 3D des vestiges sur site



Aïoli

Annotation 2D/3D

Un travail à l'interface : objets matériels, domaines de connaissance, objectifs de recherche, champs disciplinaires

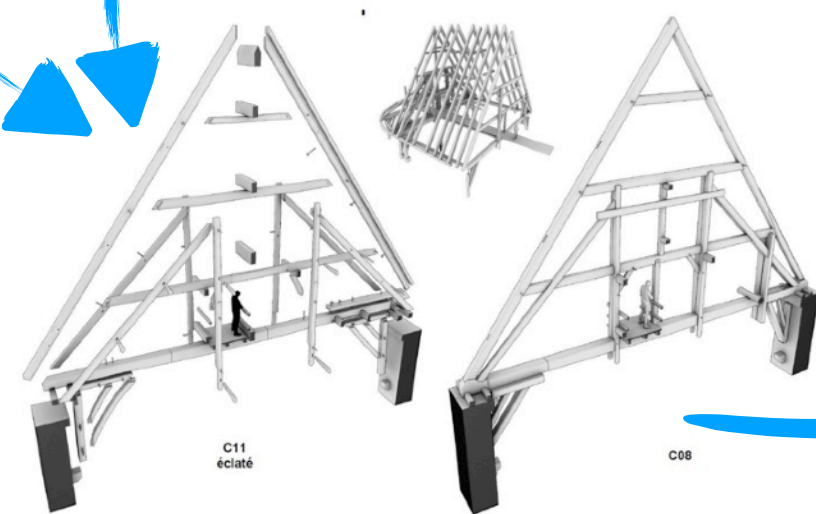
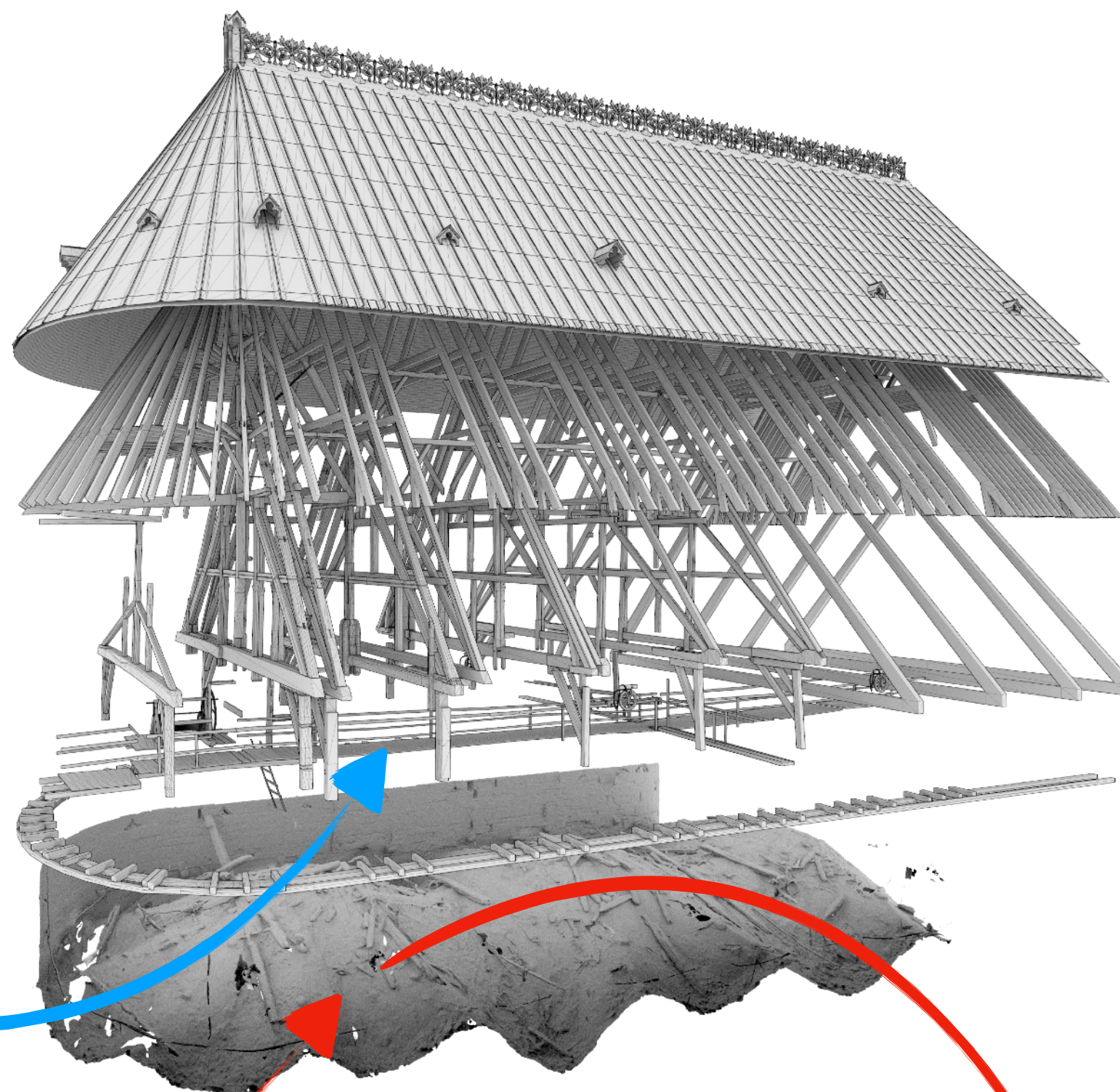
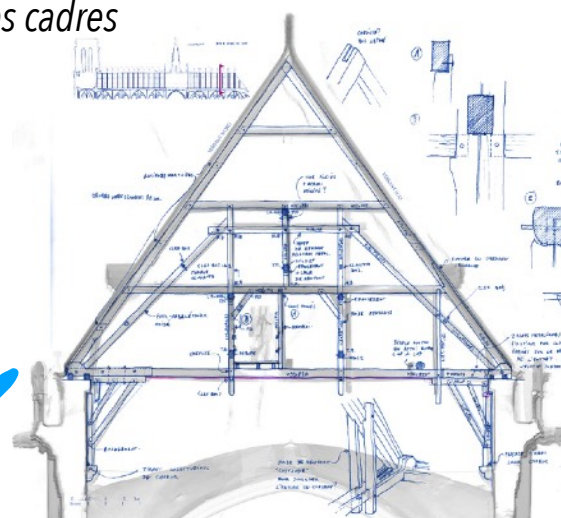
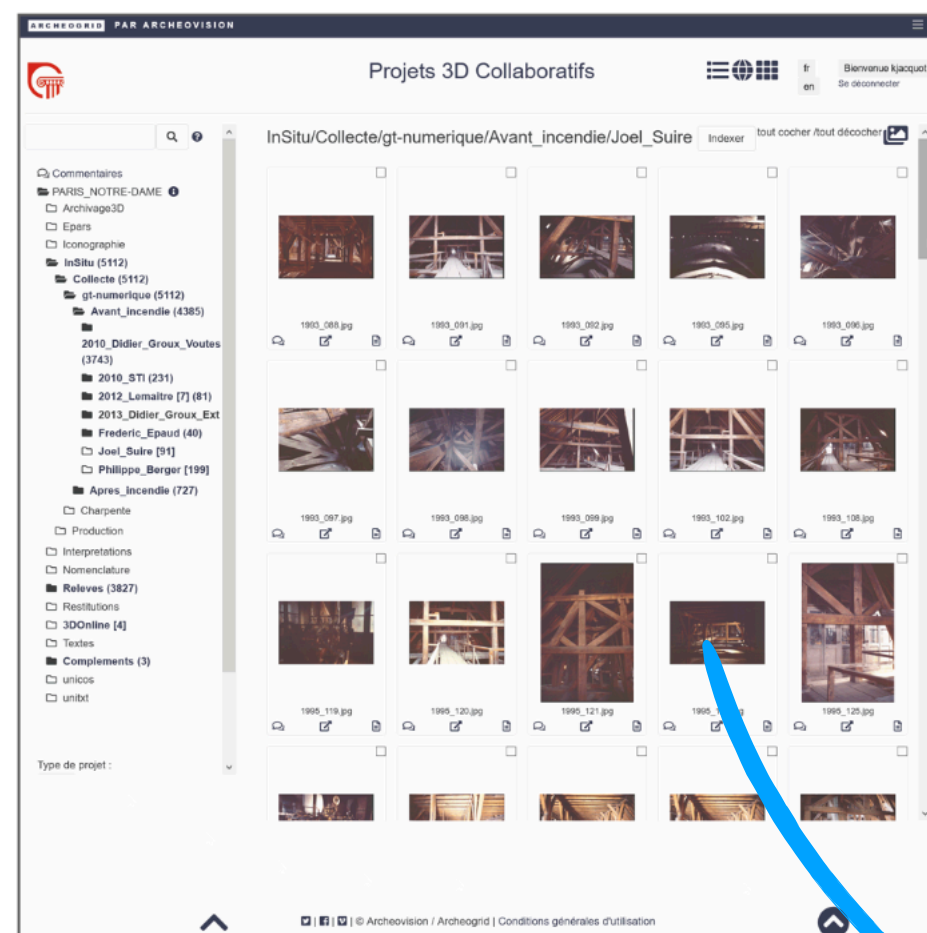


Archeogrid

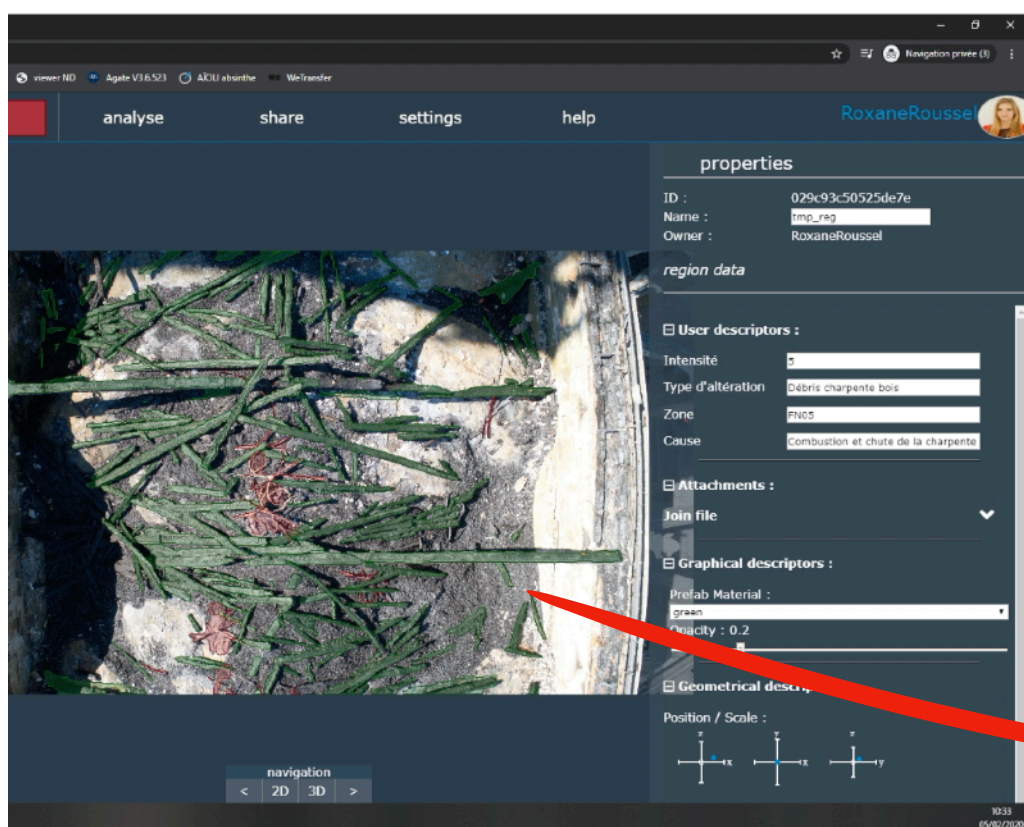
Indexation des données

Ressources documentaires (avant incendie)

- 1 nuage de points épars
- 1 relèvement topographique
- 2 coupes transversales
- 26 élévations des cadres
- 3500 photos



Restitution géométrique des charpentes



Annotation 3D des vestiges sur site

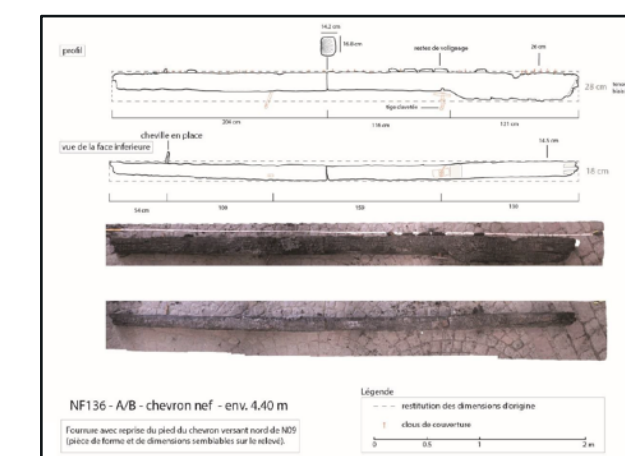


Aïoli

Annotation 2D/3D



Numérisation 3D des vestiges



Etude scientifique du vestige



Archeogrid

Indexation des données

Un travail à l'interface : objets matériels, domaines de connaissance, objectifs de recherche, champs disciplinaires

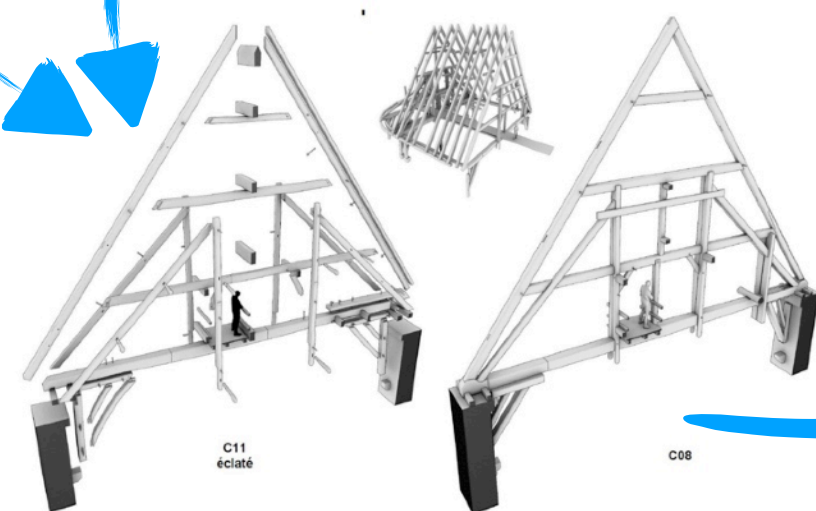
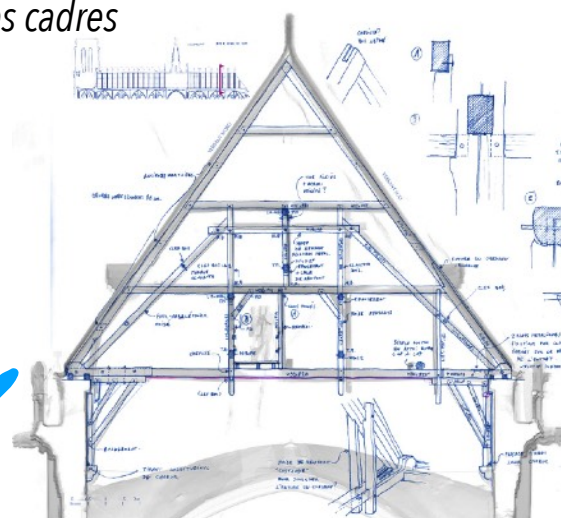


Archeogrid

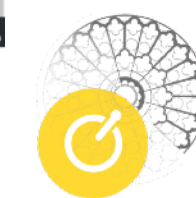
Indexation des données

Ressources documentaires (avant incendie)

- 1 nuage de points épars
- 1 relèvement topographique
- 2 coupes transversales
- 26 élévations des cadres
- 3500 photos



Restitution géométrique des charpentes



Aïoli

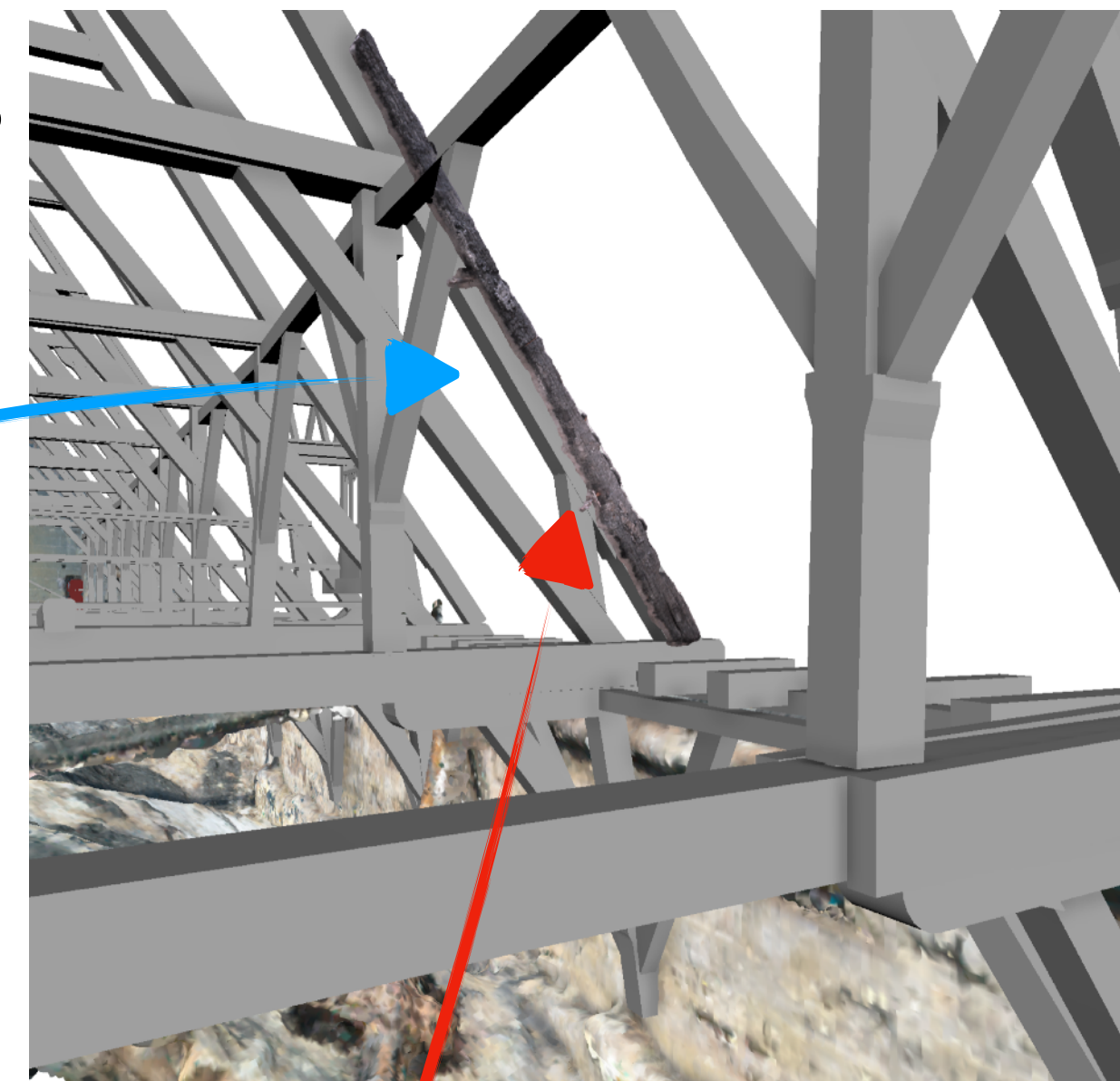
Annotation 2D/3D

Annotation 3D des vestiges sur site

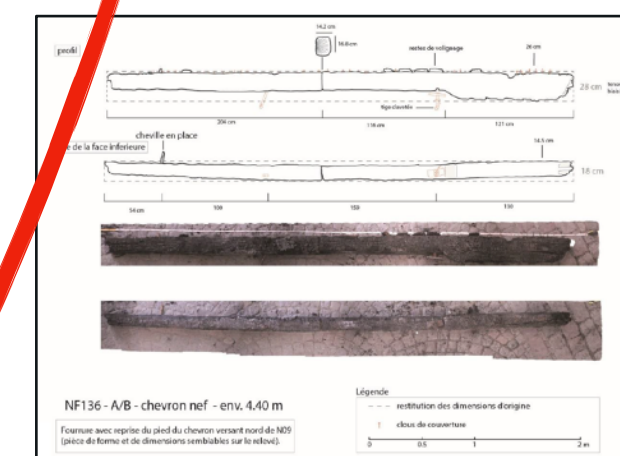


Viewer NDP

Analyse multimodale de scènes 4D



Localisation du vestige dans la scène virtuelle



Etude scientifique du vestige



Numérisation 3D des vestiges



Archeogrid

Indexation des données

Jeudi 20 juin

9h Session : Une plateforme logicielle pour centraliser, enrichir et spatialiser des données hétérogènes.

Modérateur : Xavier Rodier (MSH-Val de Loire, gt num)

- Sarah Tournon (Archeovision-CNRS, gt num). ArcheoGRID pour la gestion documentaire collaborative et l'enrichissement sémantique
- Miled Rousset (MOM-CNRS, gt num), Opentheso pour la gestion des vocabulaires contrôlés
- Adéline Manuel, Roxane Roussel (MAP-CNRS, gt num), La construction d'annotations sémantiques spatialisées des données de la cathédrale avec la plateforme aïoli
- Violette Abergel (MAP-CNRS, gt num), Visualisation interactive de données multidimensionnelles

11h pause café

11h15 Table ronde : Enjeux de documentation et de référencement spatio-temporel de données

Modérateur : Violette Abergel (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Cristina Dagalita (Centre André Chastel, gt décor), Hadrien Delépine (Héritages-MC, gt emobi), Clara Penagos (Chrono-environnement-CNRS, gt bois)

12h45 Pause déjeuner

14h Session : Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de formalisation et interconnexion

Modérateur : Gilles Gesquiere (LIRIS-CNRS, gt num)

- Anais Guillem (MAP-CNRS, gt num). Si les données de Notre-Dame nous étaient contées... Données ouvertes, ingénierie des connaissances et maïeutique numérique
- Pierre Arese, *Livio De Luca* (MAP-CNRS, gt num), Premières expérimentations sur la sémantisation et l'interrelation de sources textuelles
- Antoine Gros (MAP-CNRS, gt num). Vers un environnement numérique collaboratif pour l'analyse multimodale du comportement de structures

15h30 pause café

15h45 Table ronde : Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

Modérateur : Anais Guillem (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Elise Baillieul (IRHiS-Univ Lille, gt pierre), Frédéric Dubois (LMGC-CNRS, gt structure), Olivier Malavergne (LRMH-MC, gt num)

17h15 Conférence invitée

- Iwona Dudek (CNRS-MAP). MEMORIA, un système d'information exploratoire en ligne pour décrire des protocoles de recherche

18h



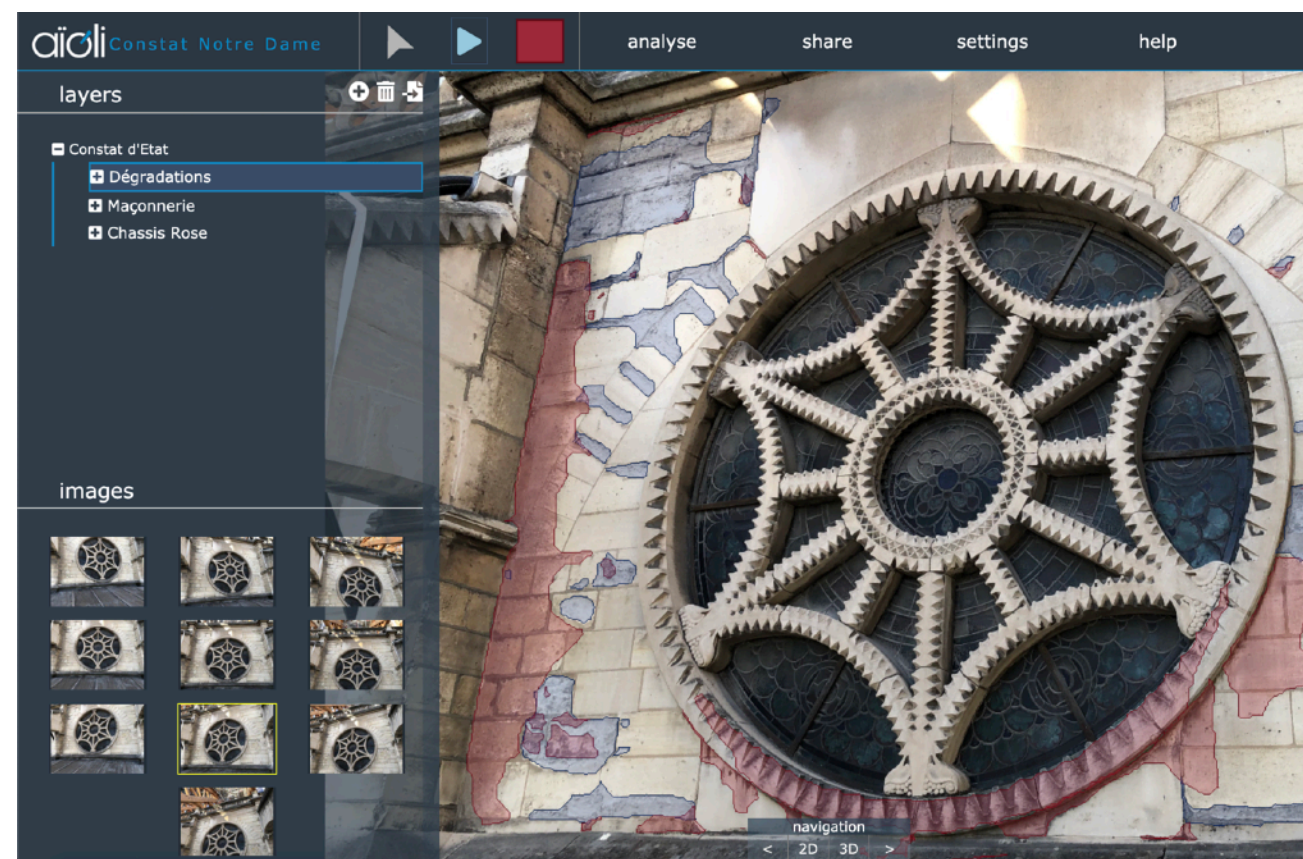
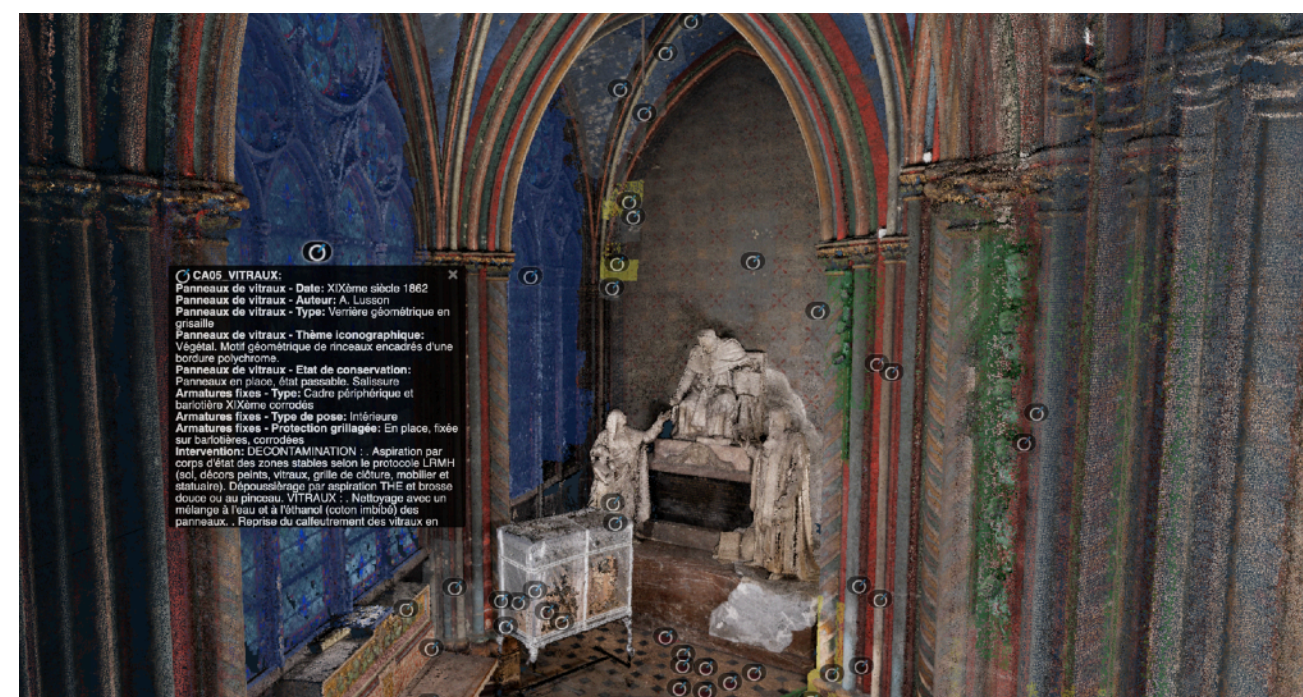
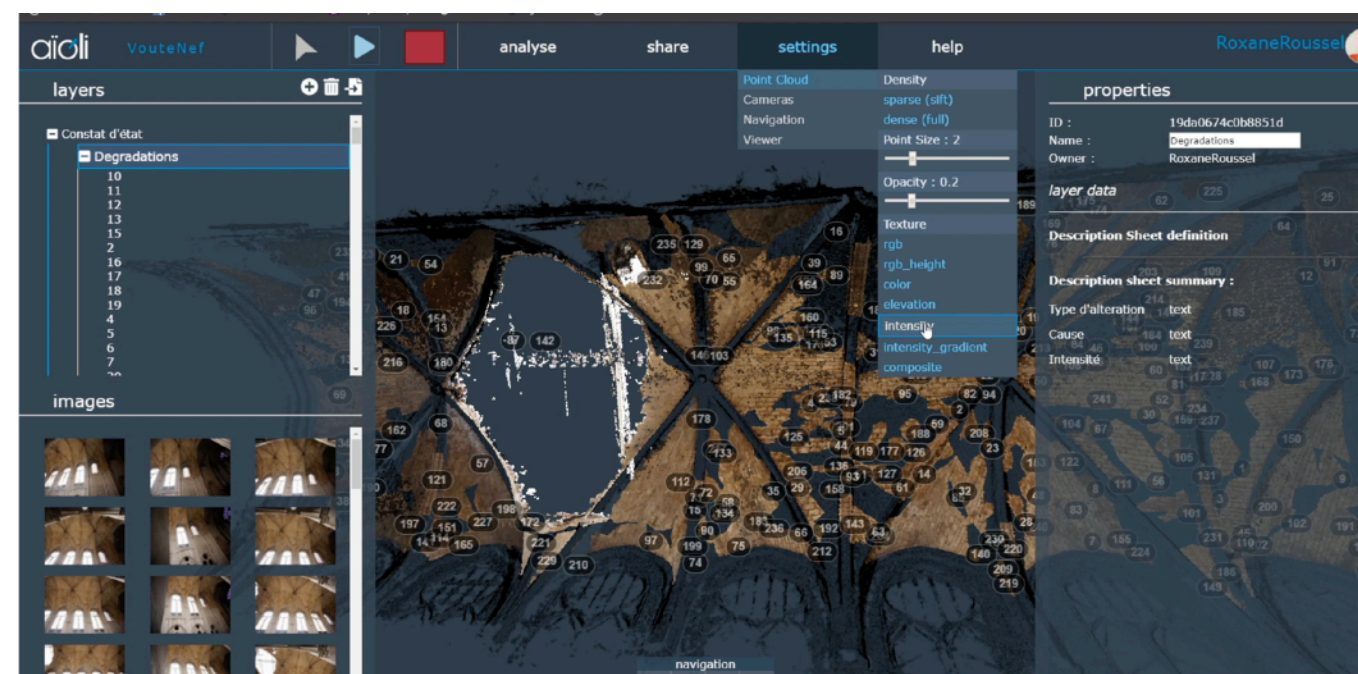
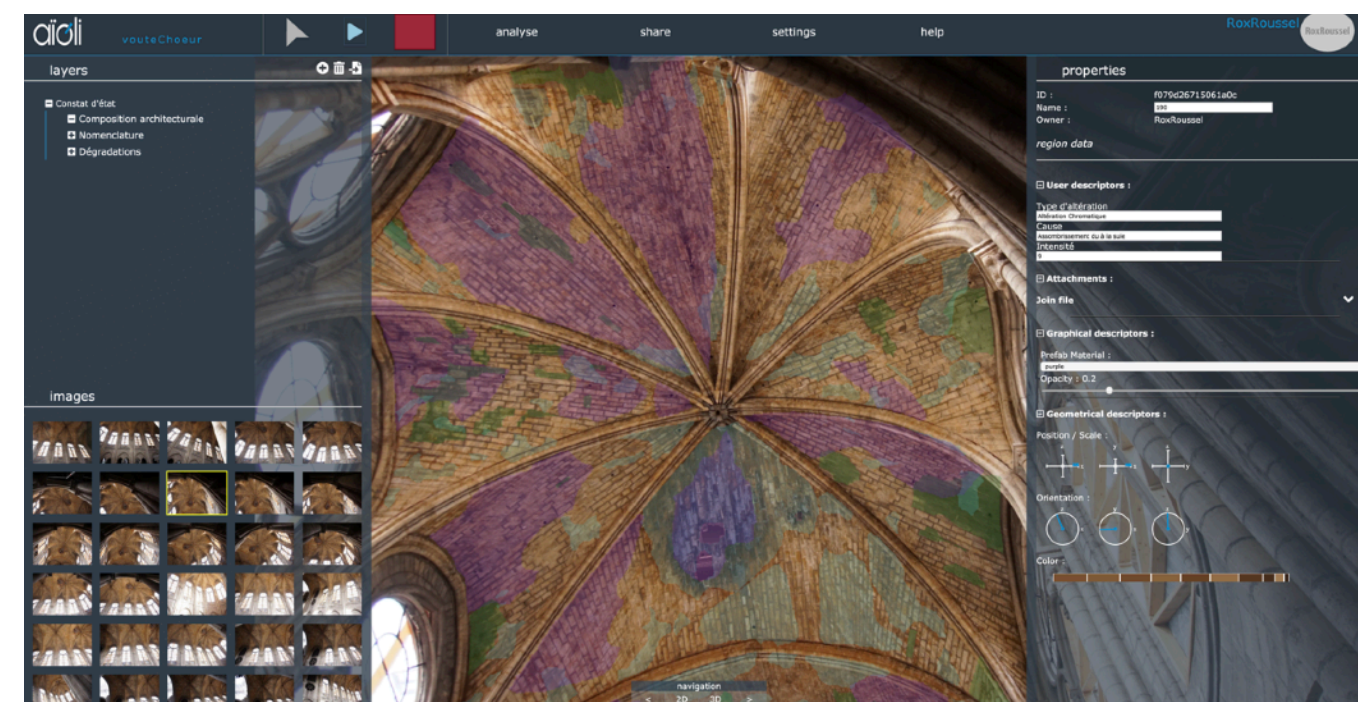
logiciel provenant de laboratoires
ouverts et réutilisables
favorisant l'interopérabilité
vers de nouvelles normes

Entièrement basé sur technologies Web



Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de documentation et de formalisation

Spatialiser des observations scientifiques et des données relatives



VoûtesCH_DIAGnostic (propriétaire : MOE)	DIAG_MACONNERIES	TP**_FISSURE** // CASSEE // SUPPORT TP**_RAGREAGES** TP**_HUMIDITE** TP**_TRACES** TP**_AUTRE** TP**_JOINT** TP**_SELS**	Commentaire Général Source de l'annotation
	DIAG_INTERVENTIONS_PROJETEES	TP**_RECONSTRUIRE** TP**_CONSOLIDER** TP**_GENERAL**	Commentaire Général Source de l'annotation
	DIAG_CINTRES	TP**_SUR-CINTRE** TP**_OPTIONNEL**	Commentaire Général Source de l'annotation
	DIAG_METROLOGIE	TP_LOCALISATION**	Source de l'annotation
VoûtesCH_GENERALites (propriétaire : MOE)	GENERAL_DECORS_P EINTS	TP**_FILETS** TP**_CLE-VOUTE** TP**_TRACES**	Commentaire Général Source de l'annotation
	GENERAL_TRAVAUX_CONNUS	TP**_CONSTRU_CH-TP** TP**_CONSTRU_NEF** TP**_CONSTRU_BARLO NGUES**	Commentaire Général Restauration Viollet-le-Duc Source de l'annotation
VoûtesCH_DEFormations (propriétaire : GT-num)	DEF_MACONNERIES	TP**_AFFAISSEMENT** TP**_SOULEVEMENT**	Commentaire Général Déformation la plus importante de la voûte Source de l'annotation
VoûtesCH_RADAR (propriétaire : LERM)	DIAG_RADAR	NF**_RADAR**	Général Source de l'annotation
VoûtesCH_STRATigraphiques (propriétaire : Parant.restauration)	DIAG_STRAT	NF**_STRAT**	Source de l'annotation
CA**_DIAGnostic (propriétaire : MOE)	DIAG_MACONNERIES	CA**_FISSURE** // CASSEE // SUPPORT CA**_GRILLE** CA**_EFFLORESCENCE** CA**_RAGREAGES**	Commentaire Général Source de l'annotation
	DIAG_VITRAUX	CA**_VITRAUX**	Nom Panneaux de vitraux - Date Panneaux de vitraux - Auteur Panneaux de vitraux - Type Panneaux de vitraux - Thème iconographique Panneaux de vitraux - Etat de conservation Armatures fixes - Type Armatures fixes - Type de pose Armatures fixes - Protection grillagée Intervention Source de l'annotation
	DIAG_DECORS_PEINTS	CA**_ECAIL** CA**_LACUNE**	Commentaire Général Source de l'annotation
	DIAG_RESEAUX_ELECTRIQUE S	CA**_ELEC**	Intervention Source de l'annotation
CA**_GENERALites (propriétaire : MOE)	GENERAL_STATUAIRE_MOBIL IER	CA**_STATUAIRE_* CA**_MOBILIER_*	Désignation (T) Auteur (T) Inv. (T) Intervention (N) Source de l'annotation (N)
	GENERAL_DECORS_PEINTS	CA**_FRESQUE** CA**_DECOR**	Décor peint Scène représentée Source de l'annotation



Annotation collaborative 2D/3D

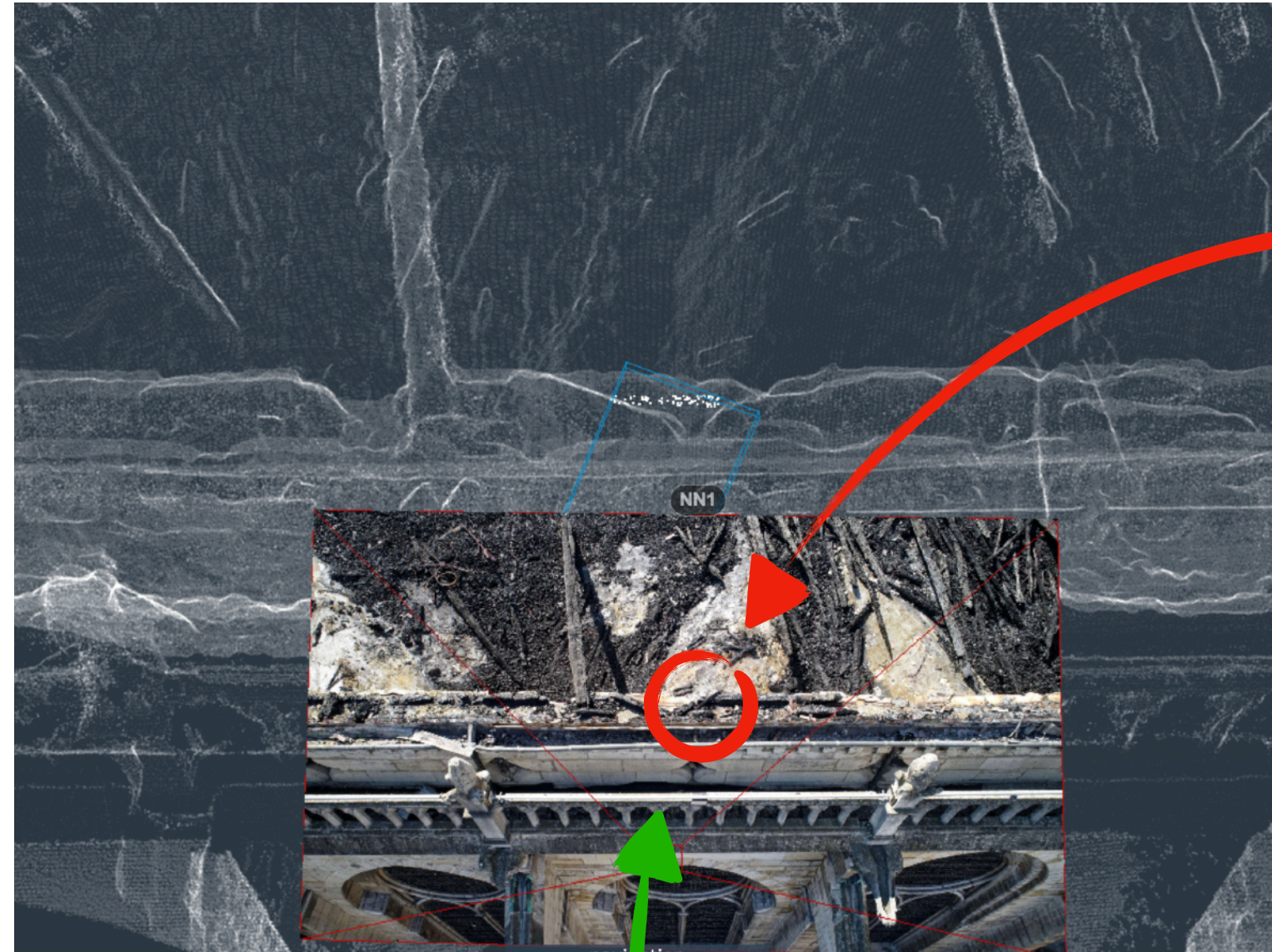
- Jeux de photographies orientées relatives à plusieurs états temporels
- Définition d'une structure de description en fonction des thématiques
- Intégration d'observations et données complémentaires provenant de multiples acteurs
- Structuration en zones d'intérêt, thématiques de documentation et d'étude
- Strategies de nomenclature et d'usage de vocabulaires contrôlés
- Corpus des annotations 2D/3D :
 - 10818 annotations
 - 1921 descripteurs/valeurs
 - 233 projets



Roussel R., De Luca L. An approach to build a complete digital report of the Notre-Dame Cathedral after the fire, using the Aioli platform. 29th CIPA Symposium, 2023

Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de documentation et de formalisation

Des données hétérogènes aux graphes de connaissances

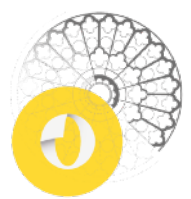
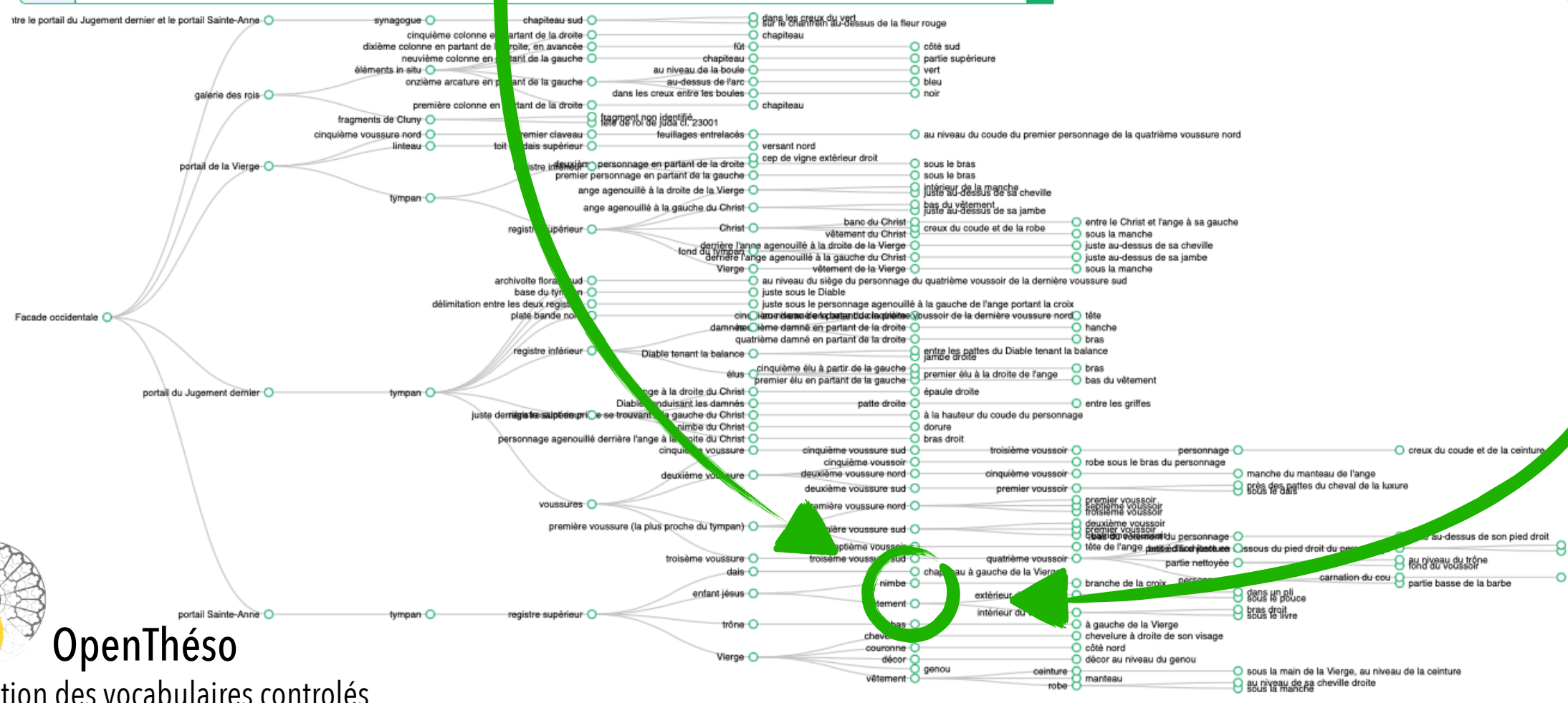


Aïoli
Annotation 2D/3D



Localisation de l'élément exprimée en
sémantique spatio-temporelle et
représentation 2D/3D associée

URL: <https://frollo.notre-dame.science/opentheso/api/graph?theso=th55&id=6296&lang=en>

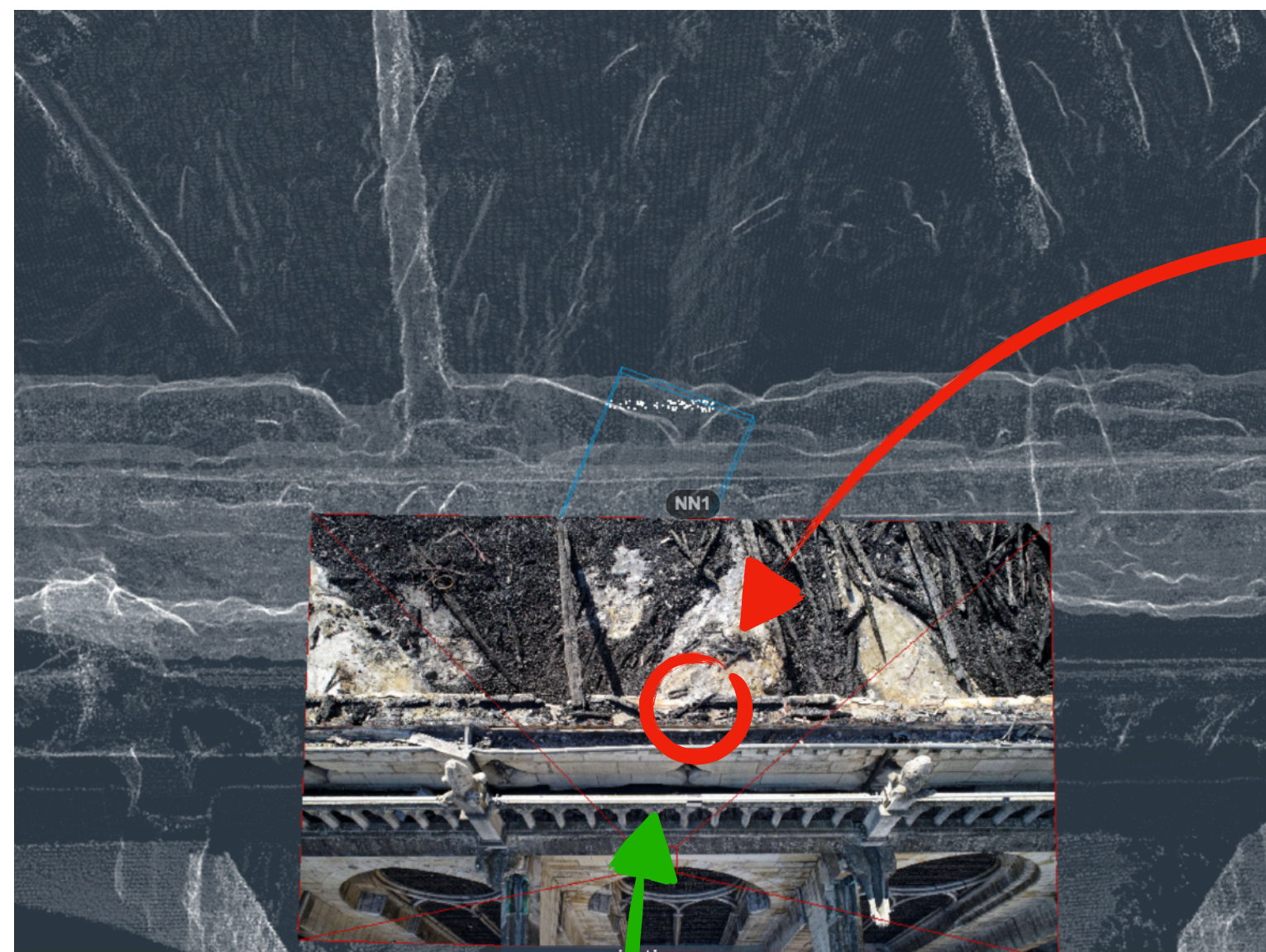


OpenThésO

Gestion des vocabulaires contrôlés

Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de documentation et de formalisation

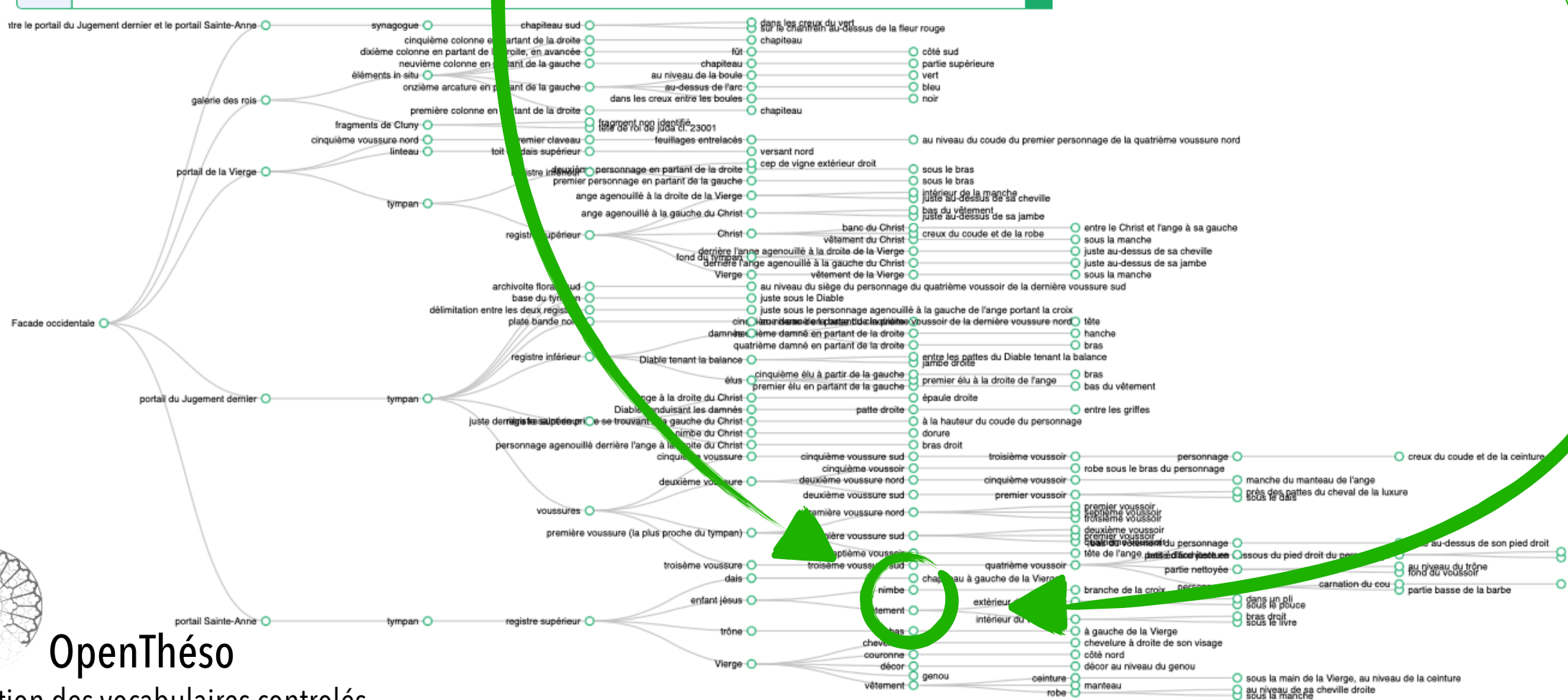
Des données hétérogènes aux graphes de connaissances



Aïoli
Annotation 2D/3D

Localisation de l'élément exprimée en sémantique spatio-temporelle et représentation 2D/3D associée

URL: <https://frollo.notre-dame.science/opentheso/api/graph?theso-th55&id=6296&lang=en>



OpenThésos
Gestion des vocabulaires contrôlés

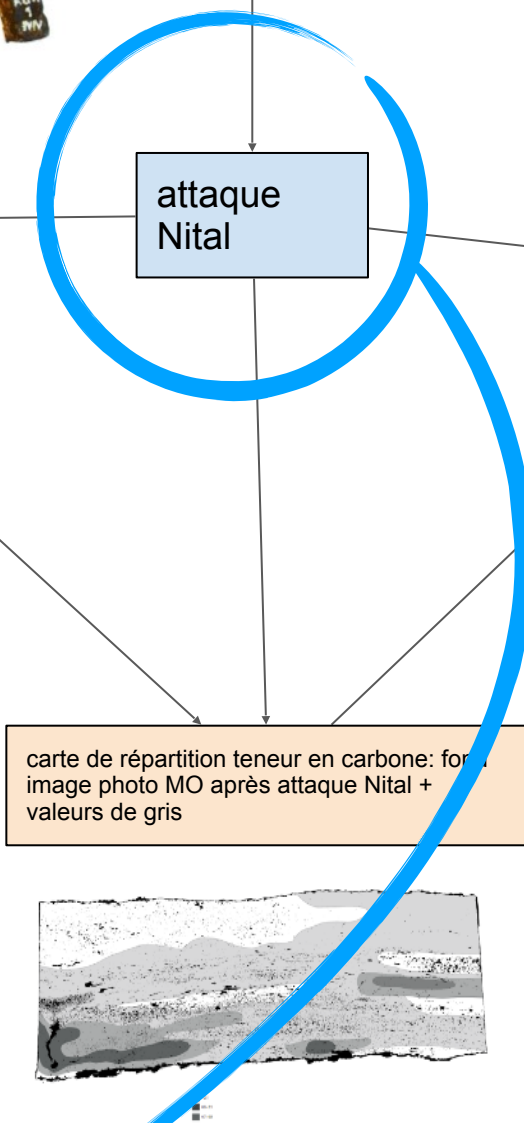


métadonnées échantillon (coupe, méthode échantillonnage etc)

description/caractérisations

	Numberous large	% of Si (area)	Si	% carburized zones (area)	Ghost structures	Weldmanstätten écorce	Number of welding lines
NN1L	-	4,0%	Yes	0%	yes	-	2
NN1L2	-	3,7%	Yes	< 1%	yes	no	1
NNIT	-	5,9%	Yes	0%	yes	-	0

Documentation des activités d'analyse scientifique de l'élément

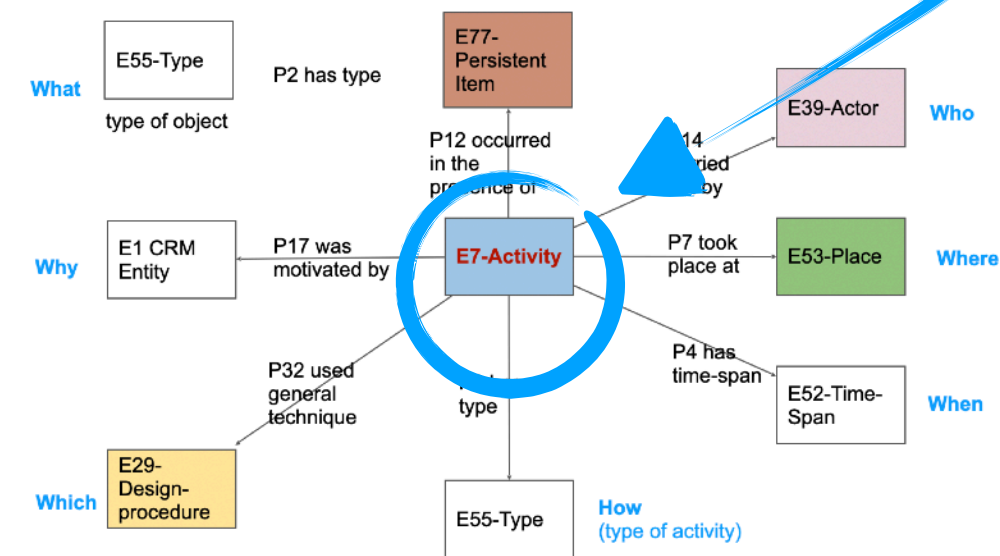


document central pour toutes les analyses (localisation, prélèvement, visualisation résultats)

Photos MO après attaque Nital

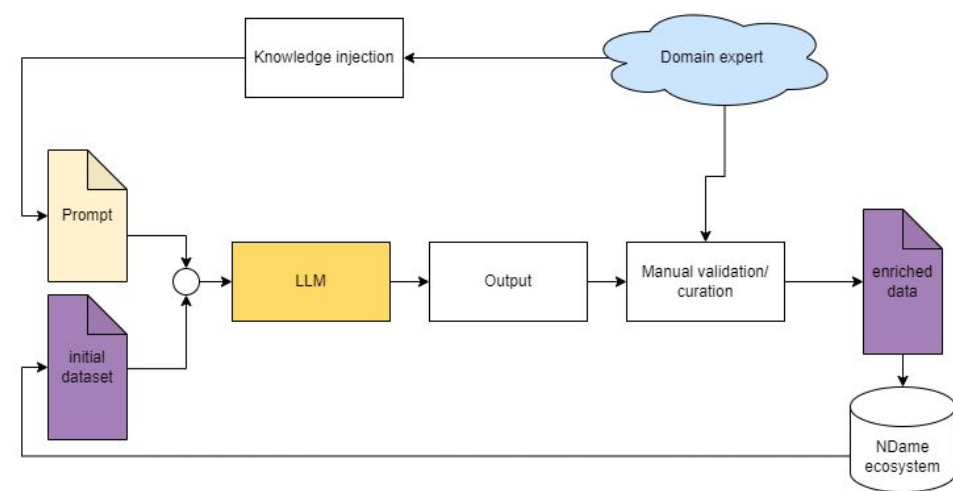
fichier de métadonnées machine pour zoom

Archeogrid
Indexation des données

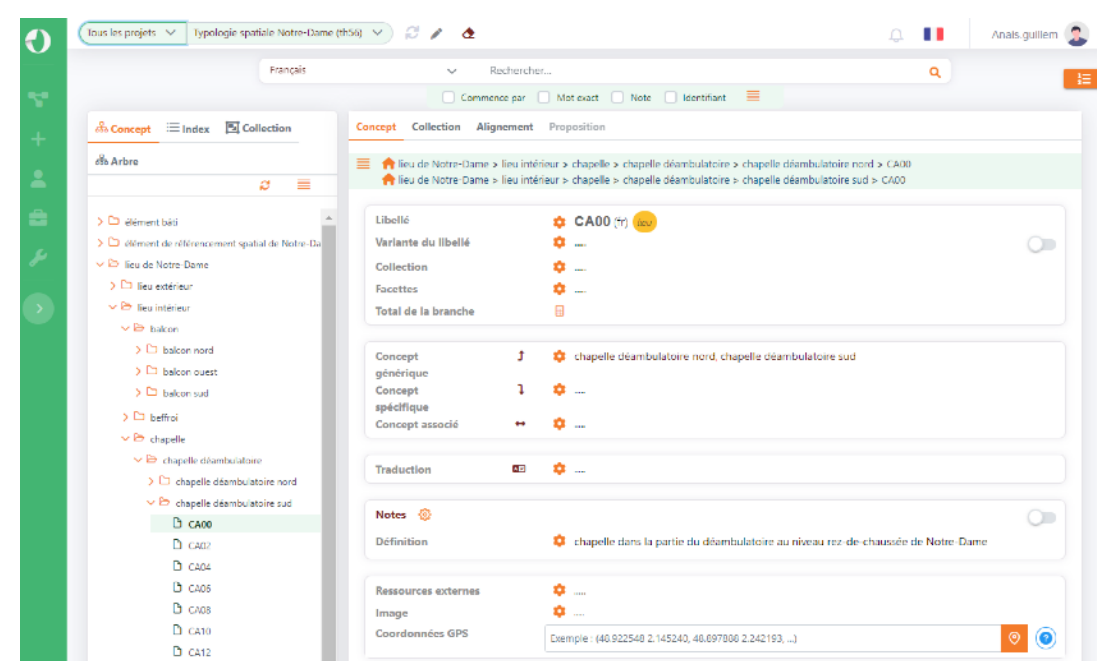


Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de documentation et de formalisation

Des données hétérogènes aux graphes de connaissances



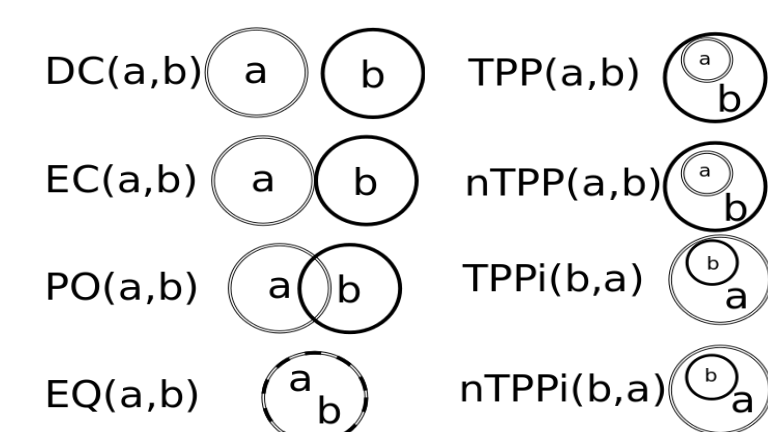
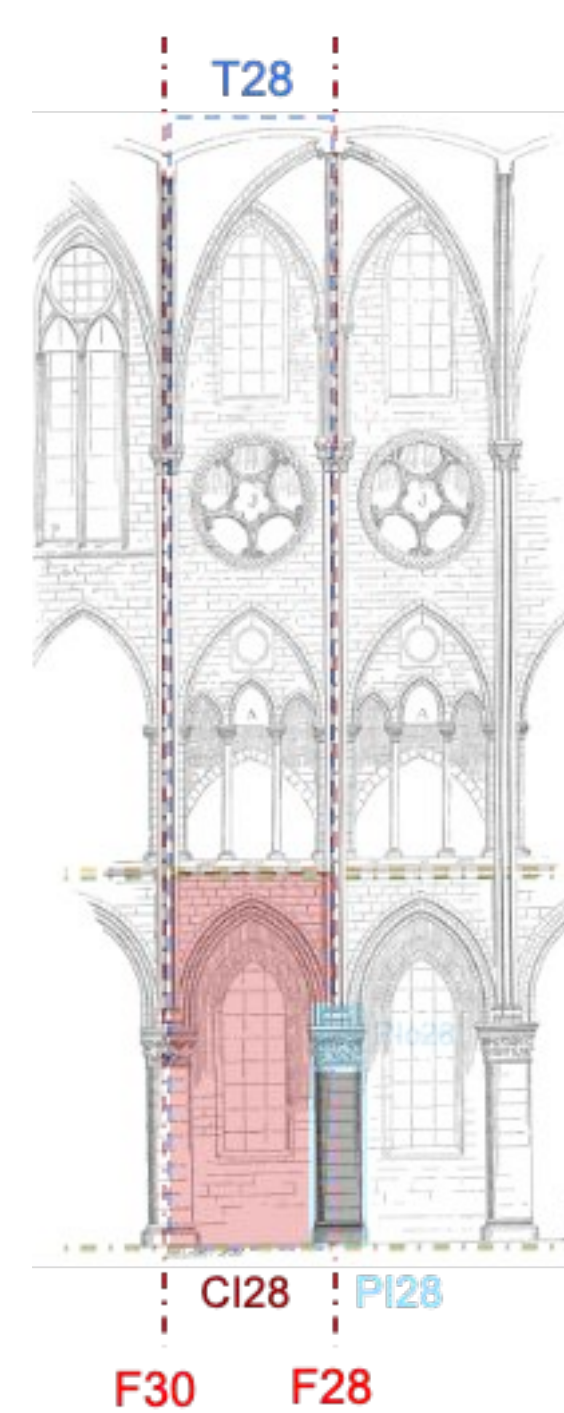
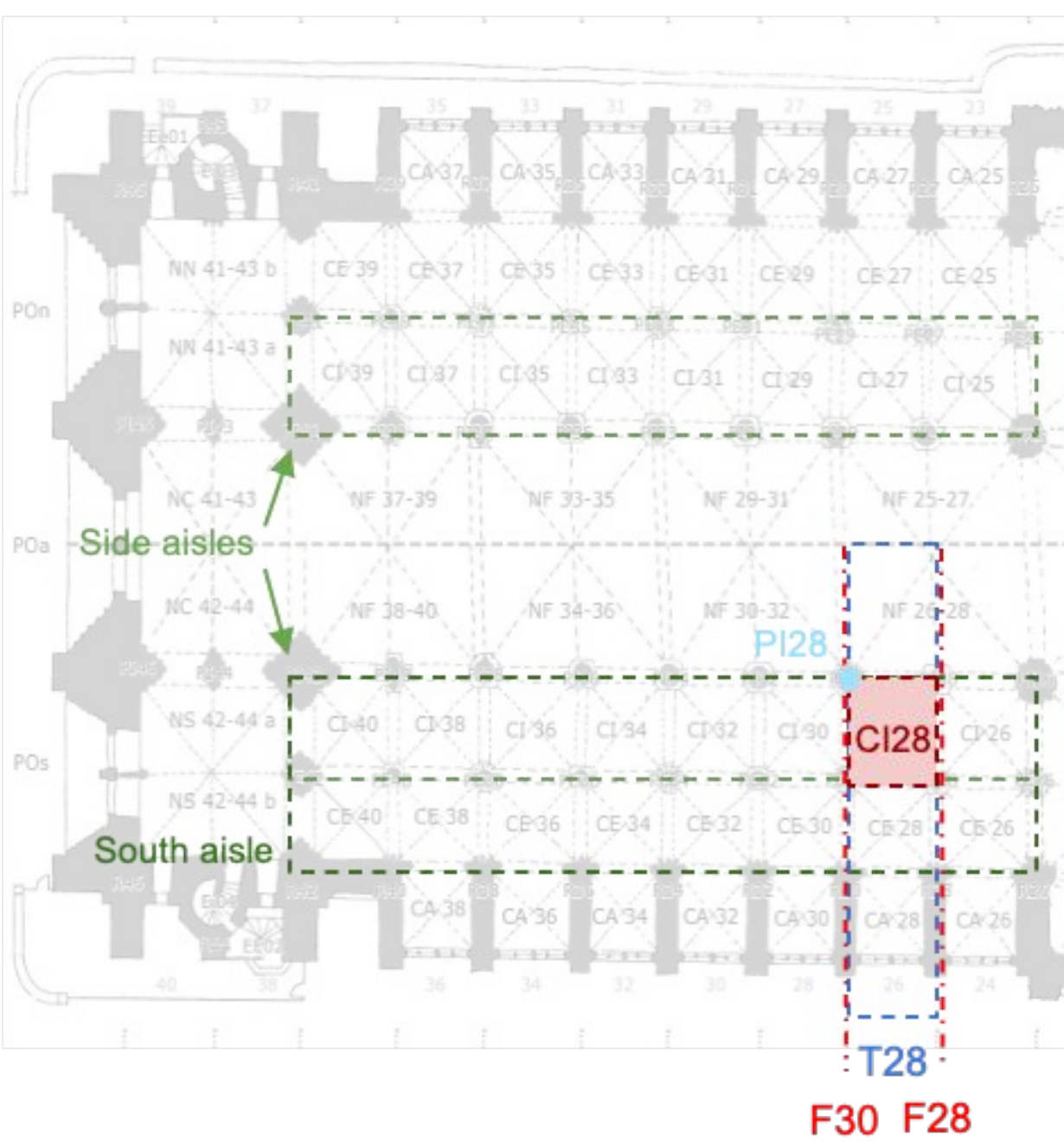
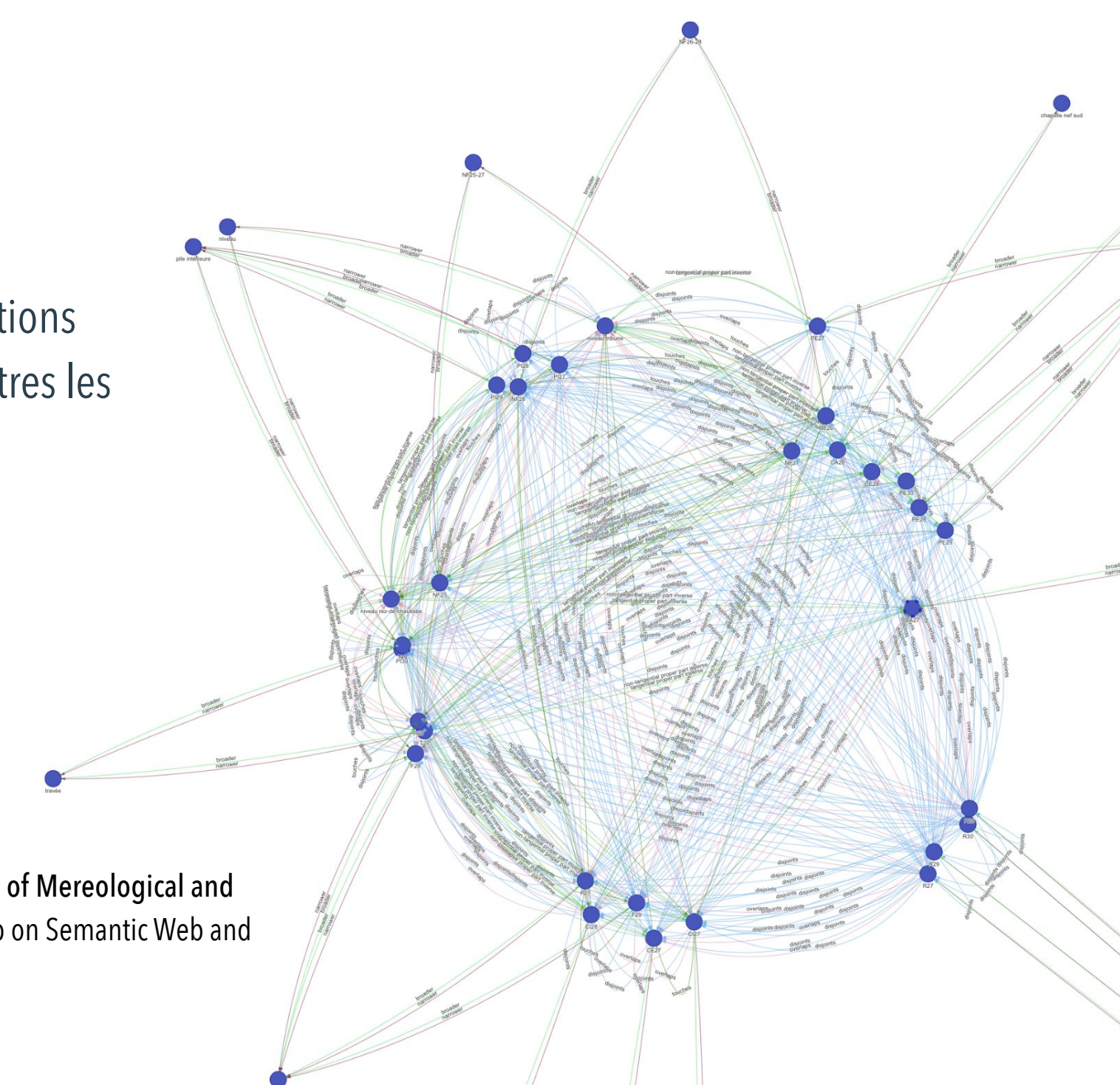
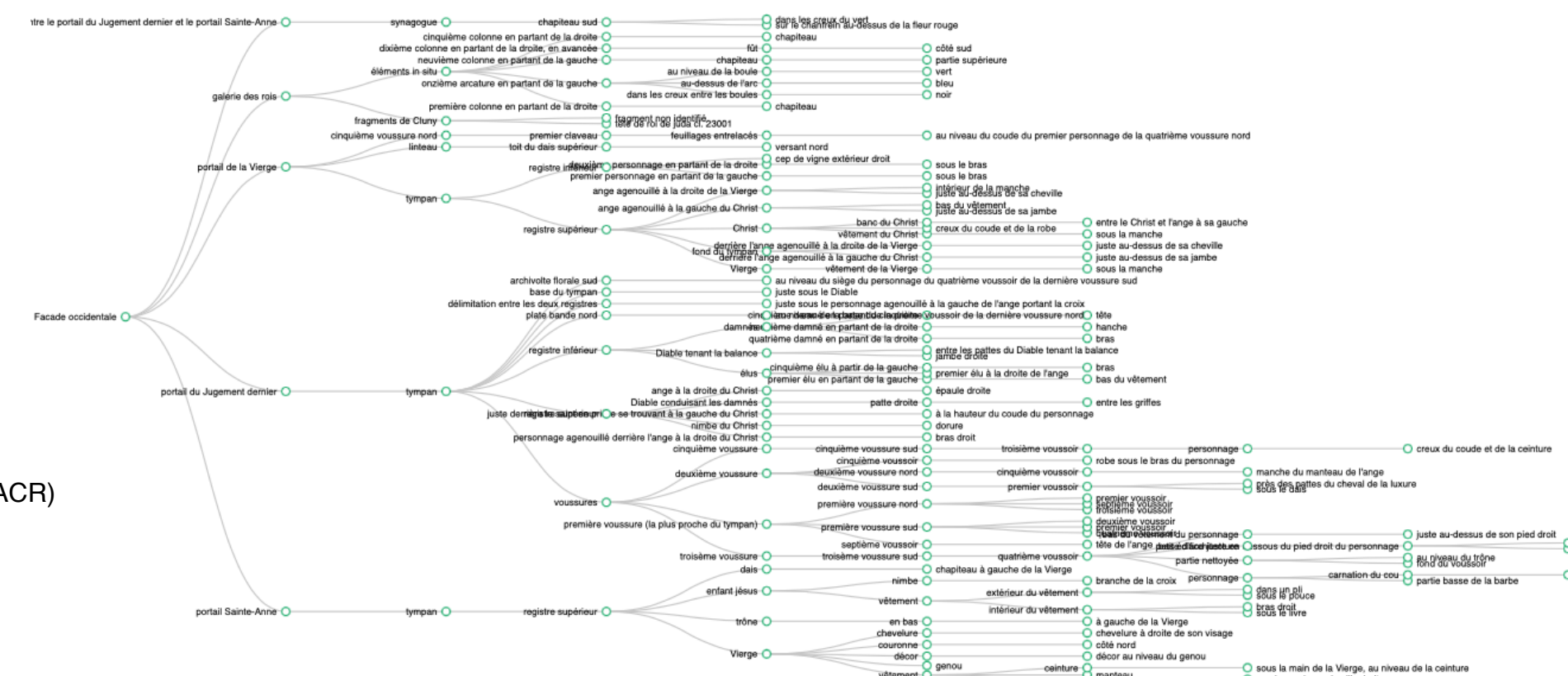
Approche hybride (expert + LLM) pour l'extraction et la categorisation de concepts



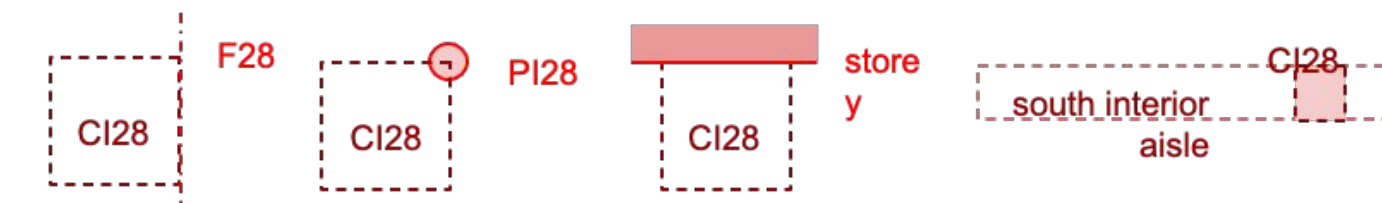
OpenThéséo

Chantier Scientifique Notre-Dame: 10.400 concepts / 9 thesauri

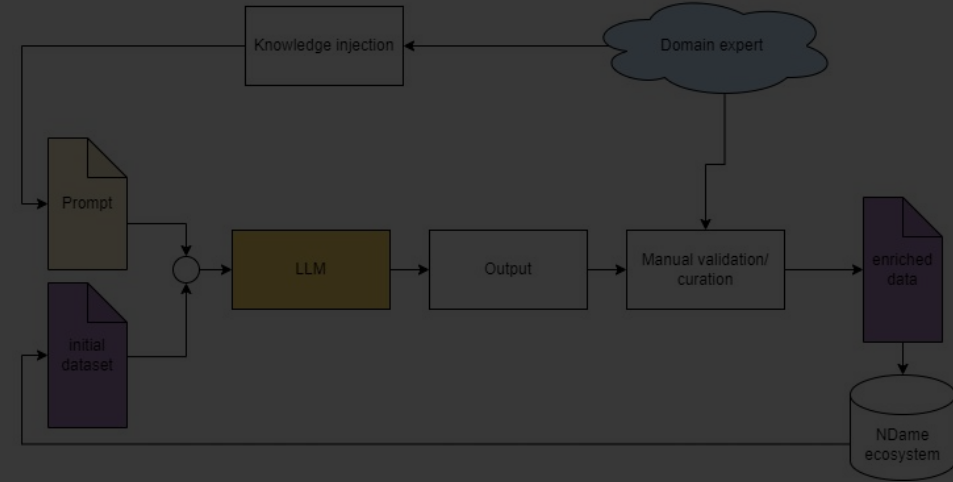
- Thésaurus nDame
- Typologie/nomenclature spatiale Notre-Dame
- Types d'objets et d'artefacts
- Digital Data Working Group Thesaurus
- Architecture (Jean-Marie Pérouse de Montclos)
- Techniques d'analyses et d'examen (TAPAC)
- Thésaurus des activités de conservation et de restauration (TACR)
- Éléments de description des couches stratigraphiques
- Type de matériaux
- LRMH_thesaurus



Modélisation sémantique des relations topologiques et mérologiques entre les entités spatiales



Guillem A., Gros A., Réby K., Abergel V., De Luca L. RCC8 for CIDOC CRM: Semantic Modeling of Mereological and Topological Spatial Relations in Notre-Dame de Paris. SWODCH'23 : International Workshop on Semantic Web and Ontology Design for Cultural Heritage, Nov 2023, Athènes, Greece.



Approche hybride (expert + LLM) pour l'extraction et la catégorisation de concepts

Jeudi 20 juin

9h Session : Une plateforme logicielle pour centraliser, enrichir et spatialiser des données hétérogènes.

Modérateur : Xavier Rodier (MSH-Val de Loire, gt num)

- Sarah Tournon (Archeovision-CNRS, gt num). ArcheoGRID pour la gestion documentaire collaborative et l'enrichissement sémantique
- Miled Rousset (MOM-CNRS, gt num), Opentheso pour la gestion des vocabulaires contrôlés
- Adéline Manuel, Roxane Roussel (MAP-CNRS, gt num), La construction d'annotations sémantiques spatialisées des données de la cathédrale avec la plateforme aiöli
- Violette Abergel (MAP-CNRS, gt num), Visualisation interactive de données multidimensionnelles

11h pause café

11h15 Table ronde : Enjeux de documentation et de référencement spatio-temporel de données

Modérateur : Violette Abergel (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Cristina Dagalita (Centre André Chastel, gt décor), Hadrien Delépine (Héritages-MC, gt emobi), Clara Penagos (Chrono-environnement-CNRS, gt bois)

12h45 Pause déjeuner

14h Session : Des données numériques aux connaissances pluridisciplinaires: enjeux de formalisation et interconnexion

Modérateur : Gilles Gesquiere (LIRIS-CNRS, gt num)

- Anais Guillem (MAP-CNRS, gt num). Si les données de Notre-Dame nous étaient contées... Données ouvertes, ingénierie des connaissances et maïeutique numérique
- Pierre Arese, *Livio De Luca* (MAP-CNRS, gt num), Premières expérimentations sur la sémantisation et l'interrelation de sources textuelles
- Antoine Gros (MAP-CNRS, gt num). Vers un environnement numérique collaboratif pour l'analyse multimodale du comportement de structures

15h30 pause café

15h45 Table ronde : Enjeux de documentation des processus de production, d'analyse et interprétation des données

Modérateur : Anais Guillem (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Elise Baillieul (IRHiS-Univ Lille, gt pierre), Frédéric Dubois (LMGC-CNRS, gt structure), Olivier Malavergne (LRMH-MC, gt num)

17h15 Conférence invitée

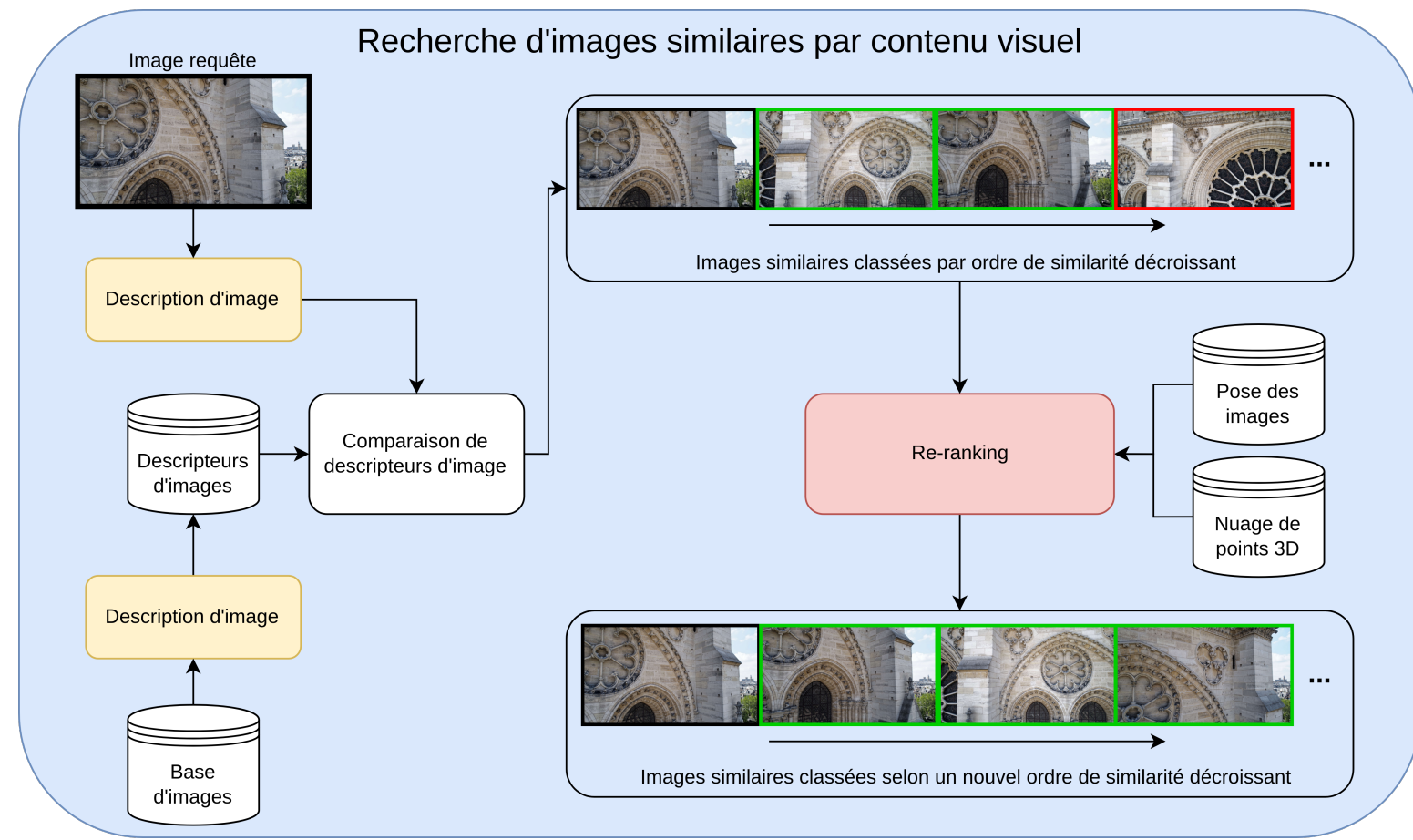
- Iwona Dudek (CNRS-MAP). MEMORIA, un système d'information exploratoire en ligne pour décrire des protocoles de recherche

18h

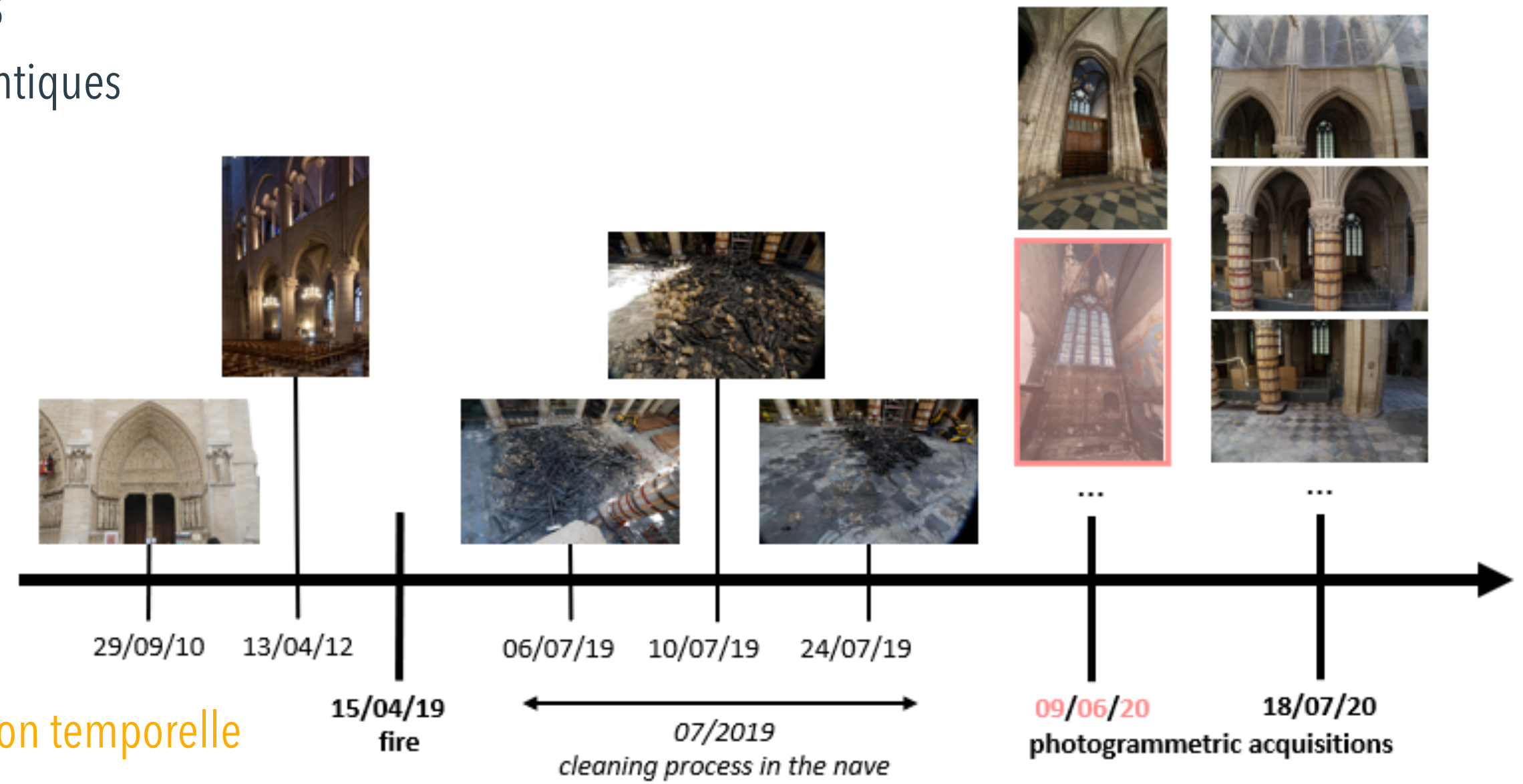


Un corpus de données interconnectées au prisme plusieurs dimensions

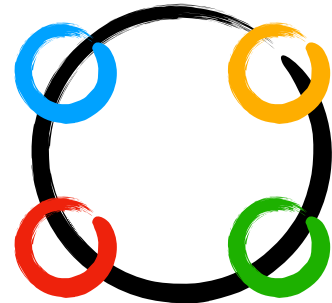
Classification d'images photographiques basée sur des critères visuels, spatiaux temporels et sémantiques



E. Blettery



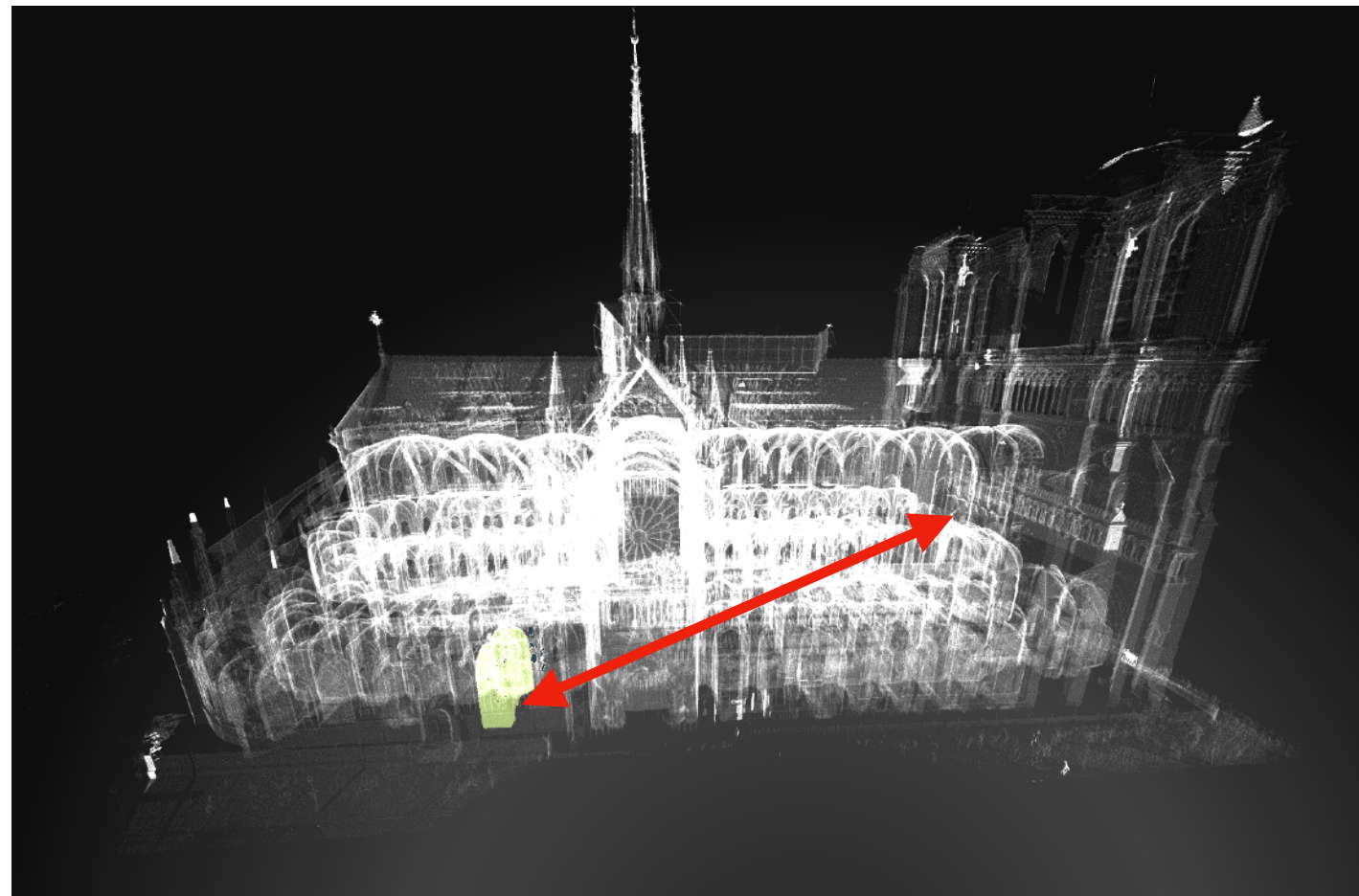
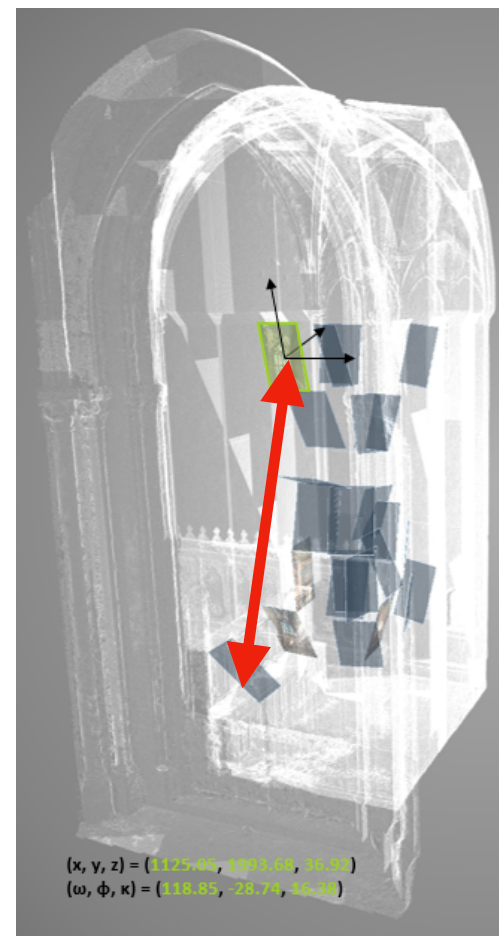
Contenu visuel



Distribution temporelle

Localisation spatiale

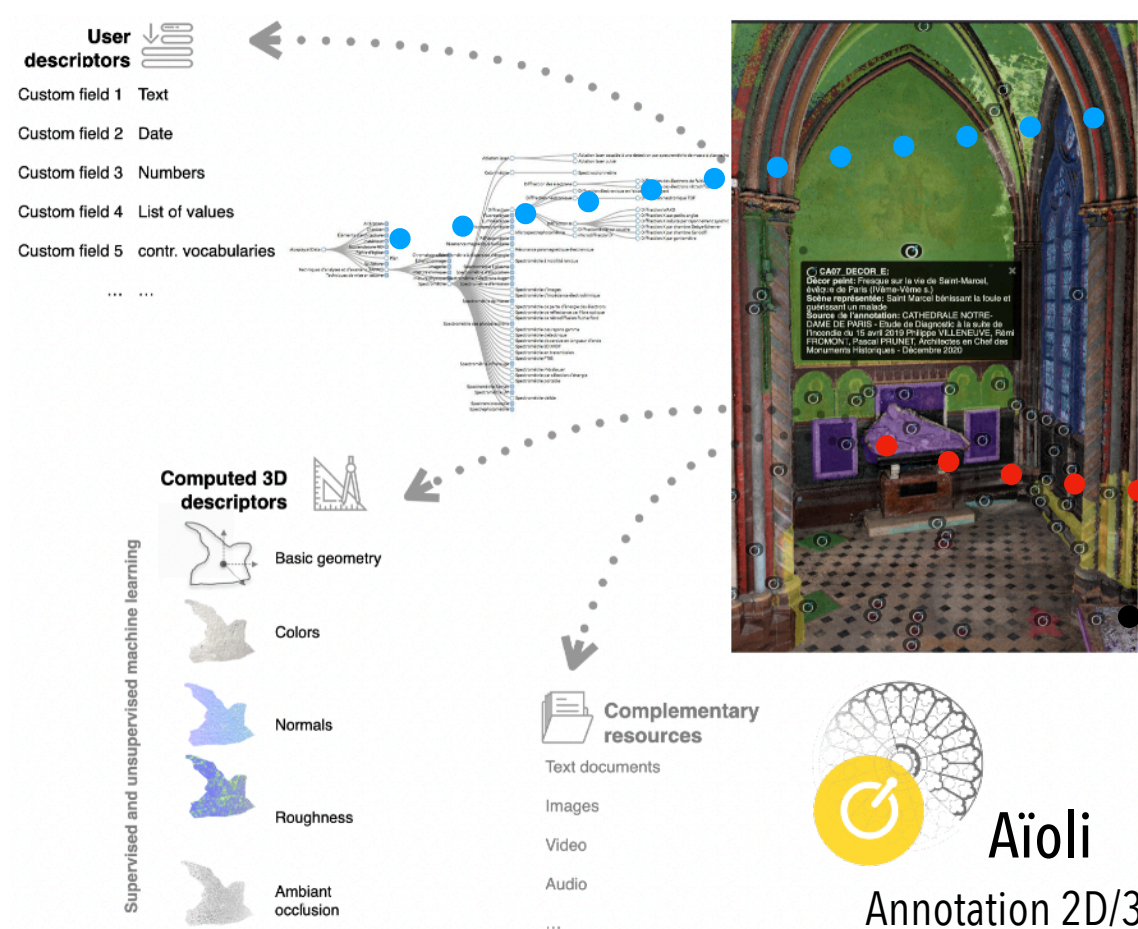
Caractérisation sémantique (annotations 2D/3D)



Willot L., Vodislav D., Gouet-Brunet V., De Luca L., Manuel A. Clustering for the Analysis and Enrichment of Corpus of Images for the Spatio-temporal Monitoring of Restoration Sites. 5th Workshop on AnalySis, Understanding and ProMotion of HeritAge Contents (SUMAC '23), 2023

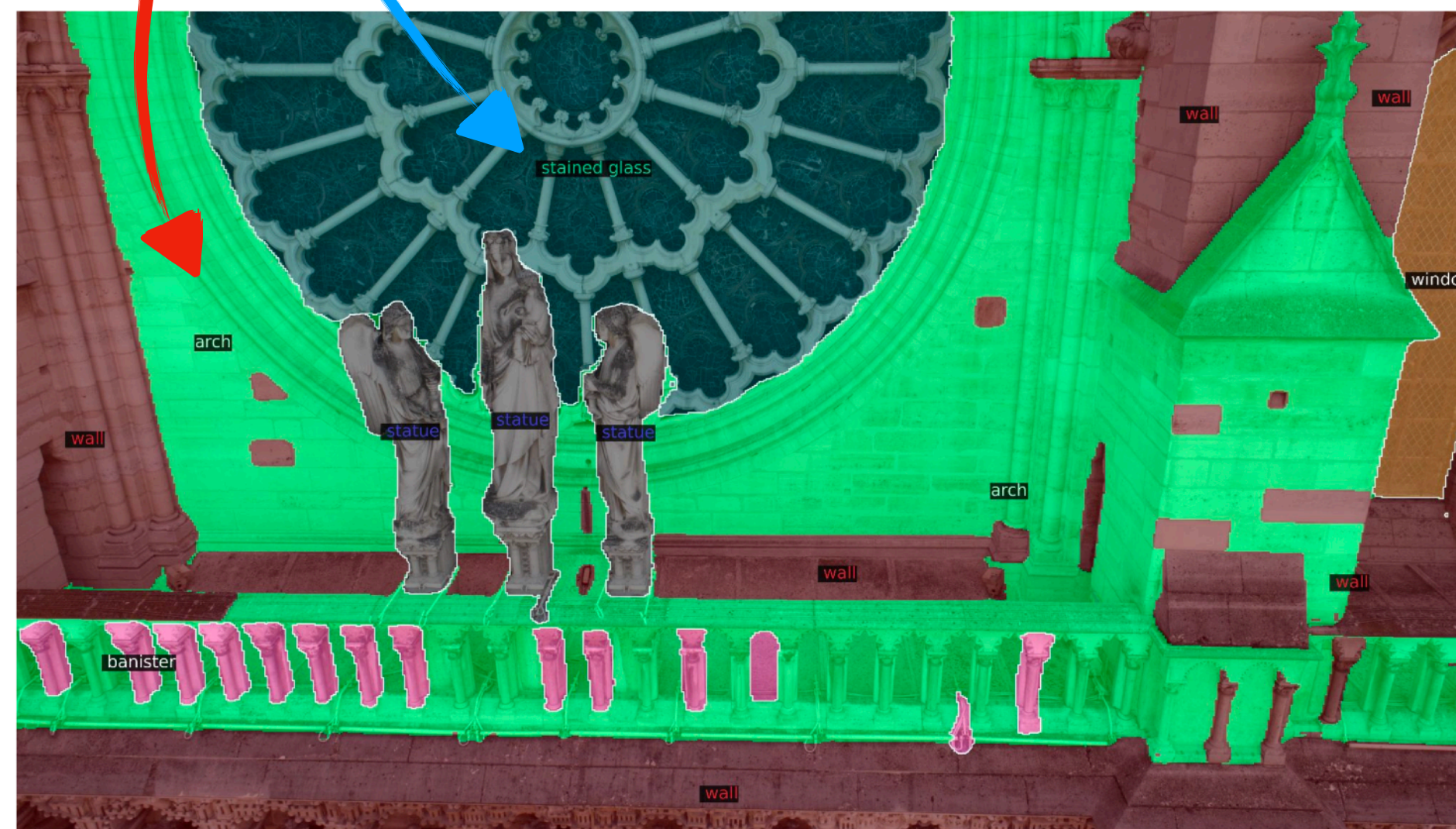
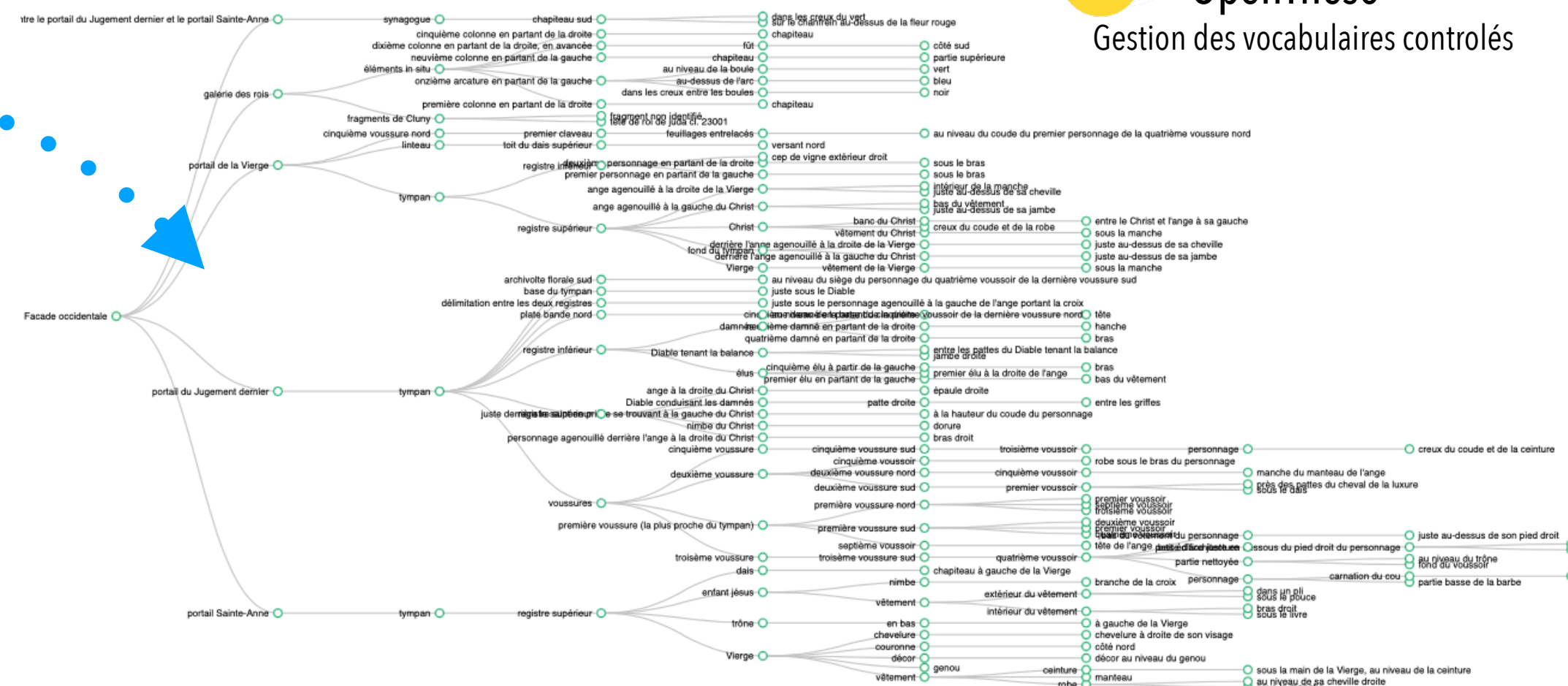
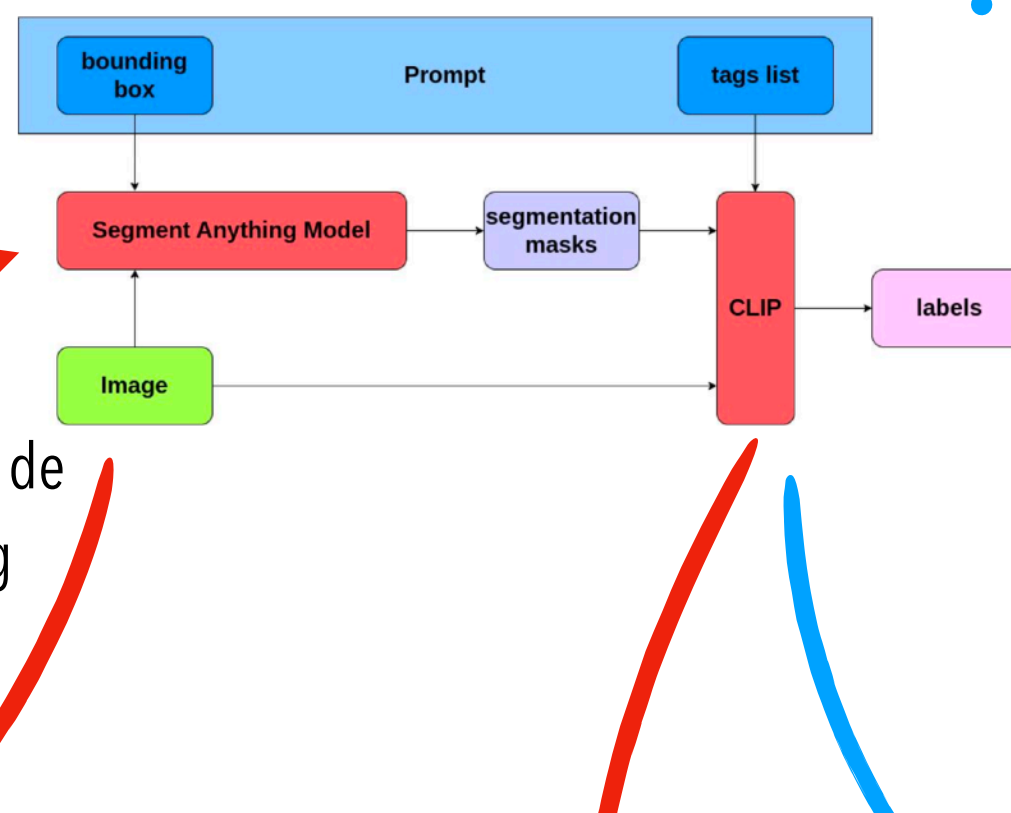
Un corpus de données interconnectées au prisme plusieurs dimensions

Expérimentation des techniques d'apprentissage profond pour l'annotation automatique



Fine-tuning de modèles de segmentation / labelling

goal = from one image, get semantic masks with category labels



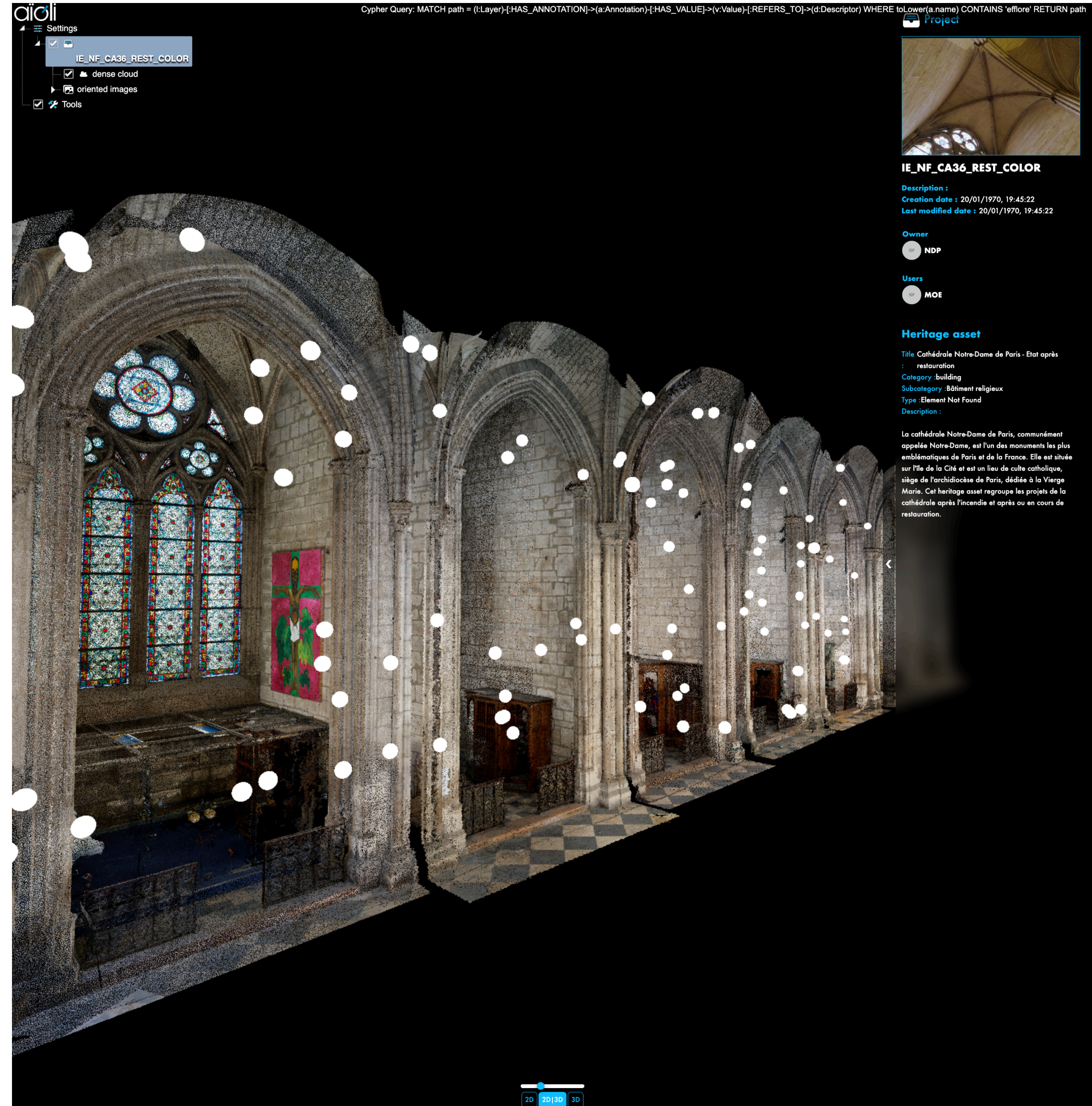
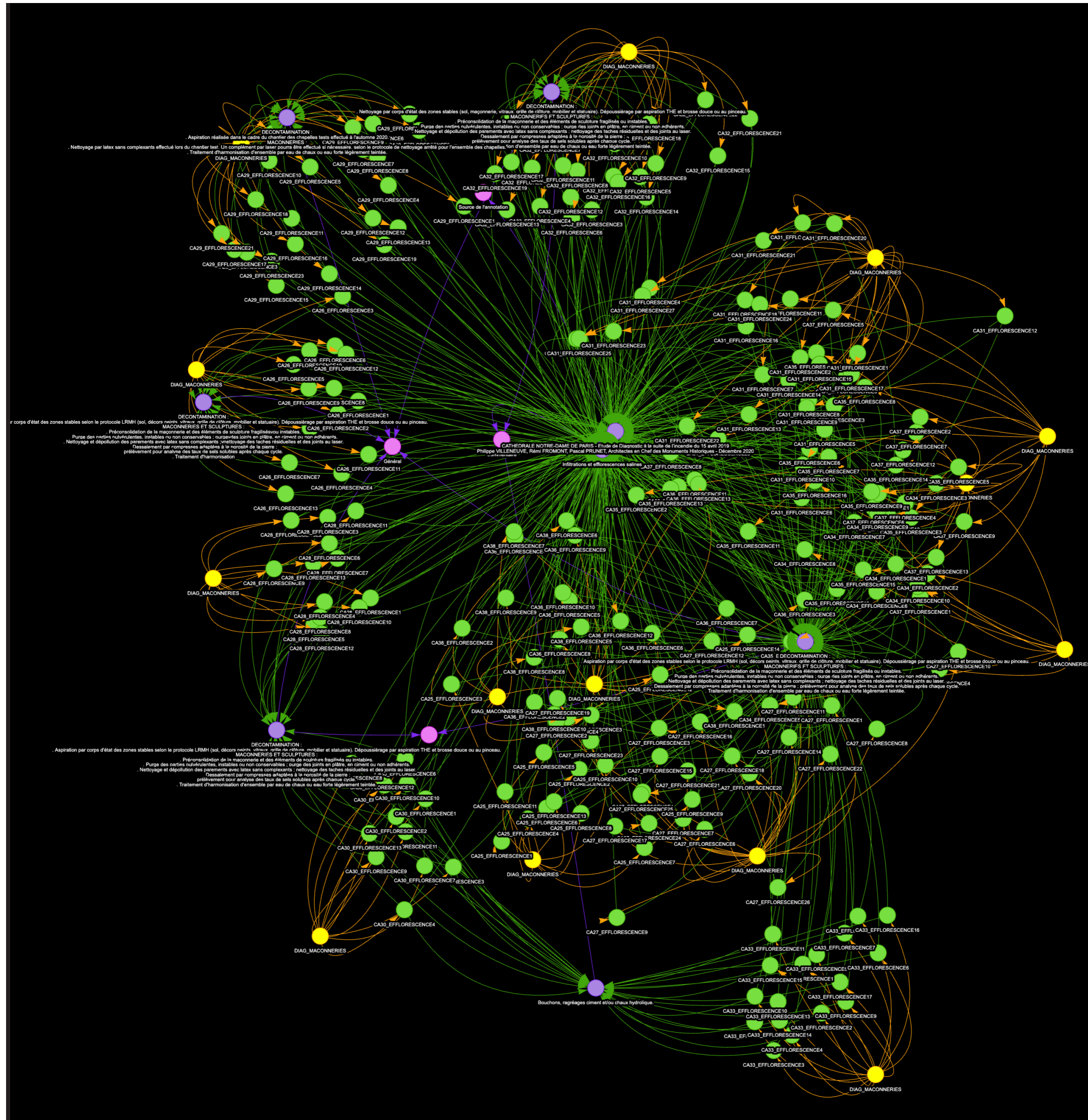
- Utilisation de Vision Language Models (VLMs) pour identifier et caractériser des liens sémantiques entre zones d'intérêt sur des images et concepts référencés dans le thésaurus.



Réby K., Guillem A., De Luca L. Semantic Segmentation using Foundation Models for Cultural Heritage: an Experimental Study on Notre-Dame de Paris. 4th ICCV Workshop on Electronic Cultural Heritage, 2023

Un corpus de données interconnectées au prisme plusieurs dimensions

Construire de nouveaux espaces d'information à la croisée de la visualisation 3D et des graphes de connaissance



- Prototype d'un environnement numérique pour l'exploration d'un corpus d'annotations :
- au sein d'un graphe de relations sémantiques
 - au sein d'une scène 3D

Perspectives de recherche : Croisement de regards disciplinaires

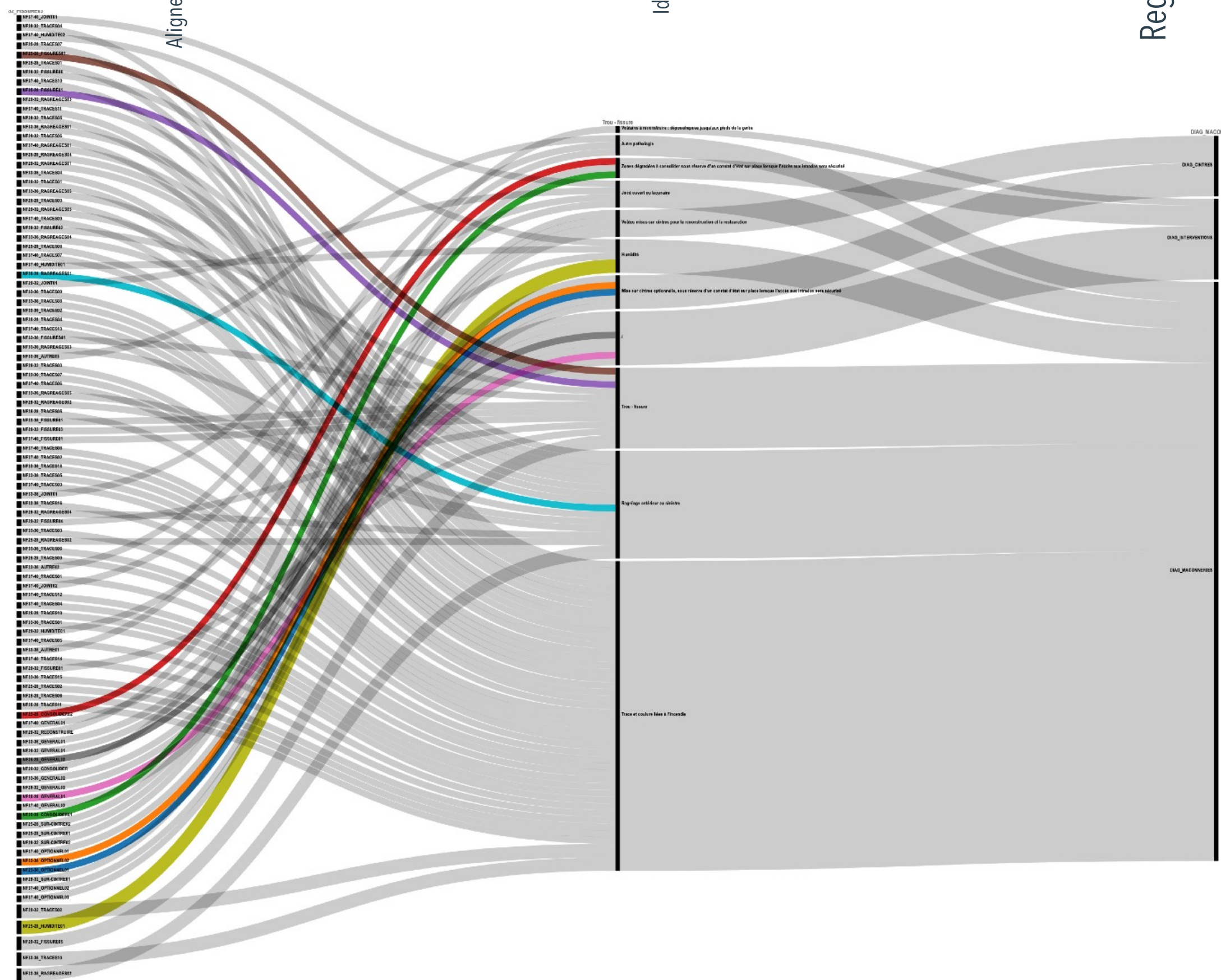
Couches d'observation et interprétation



Termes du vocabulaire
 Descripteurs customisés
 Catégorisation bottom-up
 Alignement avec des vocabulaires contrôlés

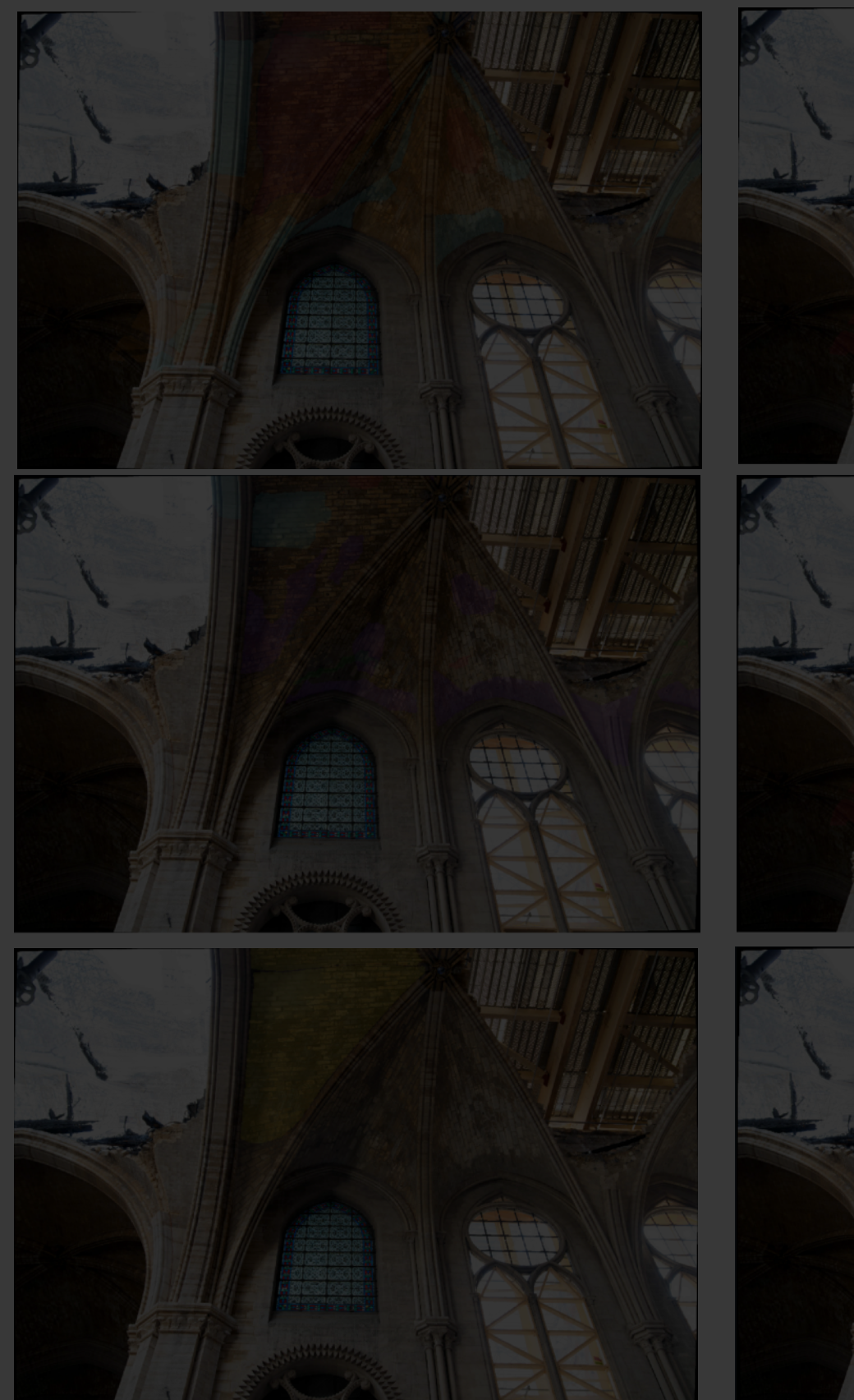
Couches thématiques
 Classification des concepts
 Identification des clusters thématiques

Regions de l'objet matériel
 Relations projectives 2D/3D/4D
 Caractérisation géométrique et visuelle



Portion d'espace physique

Couches d'observation et interprétation



Vendredi 21 juin

9h Session : Explorer un corpus de données interconnectées aux prismes des dimensions visuelles, spatiales, temporelles et sémantiques.

Modérateur : Valérie Gouet-Brunet (LASTIG-IGN, gt num)

- Laura Willot (FSP, MAP-CNRS, gt num). Caractérisation de relations de proximité temporelle, spatiale et sémantique pour l'exploration d'un corpus d'images photographiques
- Emile Blettery (MAP-CNRS, LASTIG-IGN, gt num). Intégration et localisation automatique de nouvelles images au sein de collections d'images structurées par contenu visuel
- Kevin Reby (MAP-CNRS, gt num). Modèles de fondation pour l'annotation, la segmentation et la reconnaissance de formes
- Anthony Eberlin, *Livio De Luca* (MAP-CNRS, gt num). Prototype d'un environnement numérique pour l'exploration d'un corpus d'annotations

11h pause café

11h15 Conférence invitée

- Vincent Jolivet (chartes-PSL). Les registres médiévaux de Notre Dame : une archive numérique ouverte de la vie du chapitre

12h Table ronde : Nouveaux corpus, nouveaux usages

Modérateur : Livio De Luca (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Alexis Komenda (C2RMF-MC, gt num), Nicolas Serikoff (3DS, CAPA), Melvin Hersent (MAP-CNRS, LASTIG-IGN, gt num)

13h15 Pause déjeuner

14h15 Discussion : bilan des journées et perspectives

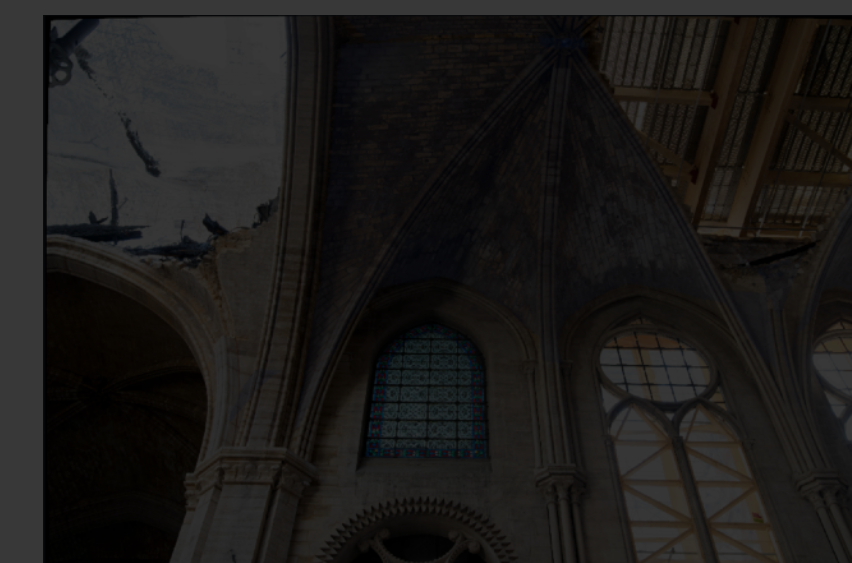
15h **Conclusion** : Jonathan Truillet (EP-RNDP). Muséographier le numérique : enjeux et opportunités révélés par les recherches du chantier scientifique pour le futur musée de Notre-Dame de Paris

15h30 Fin des journées d'études

Regions de l'objet matériel

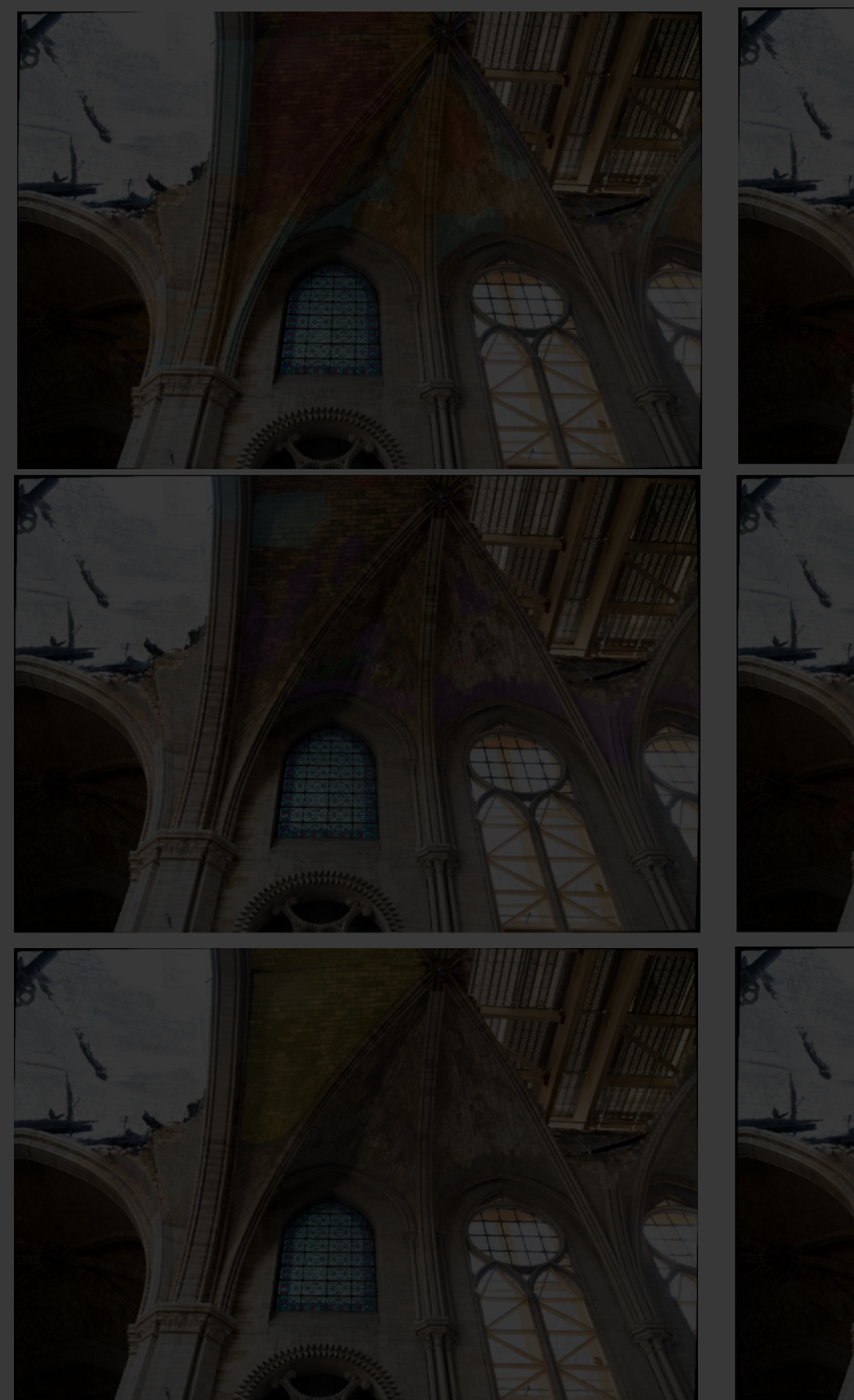
Relations projectives 2D/3D/4D

Caractérisation géométrique et visuelle



Portion d'espace physique

Couches d'observation et interprétation



Vendredi 21 juin

9h Session : Explorer un corpus de données interconnectées aux prismes des dimensions visuelles, spatiales, temporelles et sémantiques.

Modérateur : Valérie Gouet-Brunet (LASTIG-IGN, gt num)

- Laura Willot (FSP, MAP-CNRS, gt num). Caractérisation de relations de proximité temporelle, spatiale et sémantique pour l'exploration d'un corpus d'images photographiques
- Emile Blettery (MAP-CNRS, LASTIG-IGN, gt num). Intégration et localisation automatique de nouvelles images au sein de collections d'images structurées par contenu visuel
- Kevin Reby (MAP-CNRS, gt num). Modèles de fondation pour l'annotation, la segmentation et la reconnaissance de formes
- Anthony Eberlin, *Livio De Luca* (MAP-CNRS, gt num). Prototype d'un environnement numérique pour l'exploration d'un corpus d'annotations

11h pause café

11h15 Conférence invitée

- Vincent Jolivet (chartes-PSL). Les registres médiévaux de Notre Dame : une archive numérique ouverte de la vie du chapitre

12h Table ronde : Nouveaux corpus, nouveaux usages

Modérateur : Livio De Luca (MAP-CNRS, gt num)

- Intervenants : Alexis Komenda (C2RMF-MC, gt num), Nicolas Serikoff (3DS, CAPA), Melvin Hersent (MAP-CNRS, LASTIG-IGN, gt num)

13h15 Pause déjeuner

14h15 Discussion : bilan des journées et perspectives

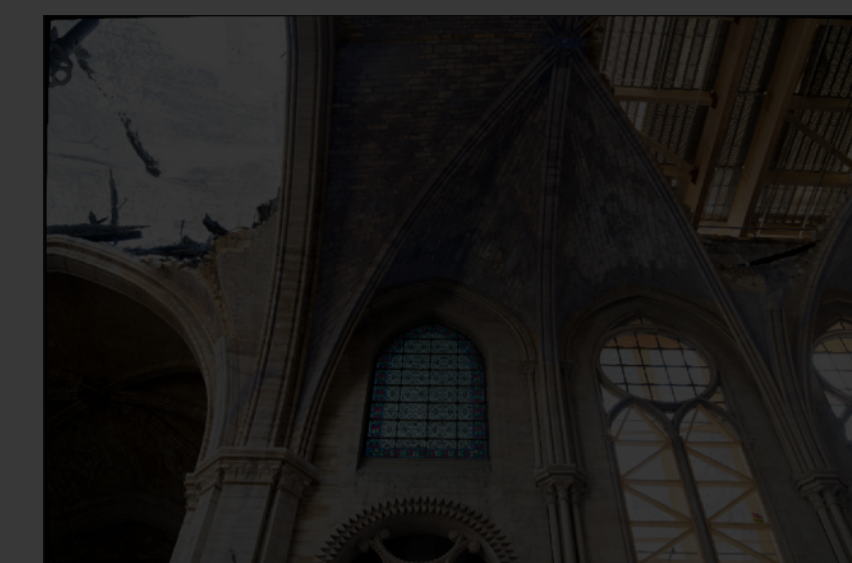
15h **Conclusion** : Jonathan Truillet (EP-RNDP). Muséographier le numérique : enjeux et opportunités révélés par les recherches du chantier scientifique pour le futur musée de Notre-Dame de Paris

15h30 Fin des journées d'études

Regions de l'objet matériel

Relations projectives 2D/3D/4D

Caractérisation géométrique et visuelle



Portion d'espace physique

Groupe de travail Données numériques

CNRS- **MAP** Violette Abergel, Pierre Arese, Isabelle Cao, Florent Comte, Livio De Luca, Anthony Eberlin, Antoine Gros, Anaïs Guillem, Melvin Hersent, Kévin Jacquot, Ariane Néroulidis, Anthony Pamart, Kevin Réby, Roxane Roussel, Renato Saleri, Laura Willot

CNRS- **ARCHEVISION** Loïc Espinasse, Sarah Tournon, Xavier Granier

CNRS- **CITERES** Thomas Pouyet, Xavier Rodier, Olivier Marlet

ETIS Dan Vodislav

LASTIG Marc Pierrot-Desseilligny, Valérie Gouet-Brunet, Sidonie Christophe, Mathieu Brédif

LRMH Anaïs Guillem, Lise Leroux, Olivier Malavergne, Véronique Vergès-Belmin, Thierry Zimmer

LIRIS Gilles Gesquière, John Samuel

LS2N Florent Laroche

MIS El Mustapha Mouaddib

MOM Miled Rousset

PLEMO 3D Denis Hayot, Dany Sandron, Gregory Chaumet

ZEMAS Stephan Albrecht

ISTI VCL Marco Callieri, Marco Potenziani, Roberto Scopigno, Paolo Cignoni

Collaborations Mathias Fantin, BESTREMA

Rémi Fromont, ACMH Notre-Dame de Paris

Pascal Prunet, ACMH Notre-Dame de Paris

Béatrice Bouet, SRA DRAC Ile-de-France

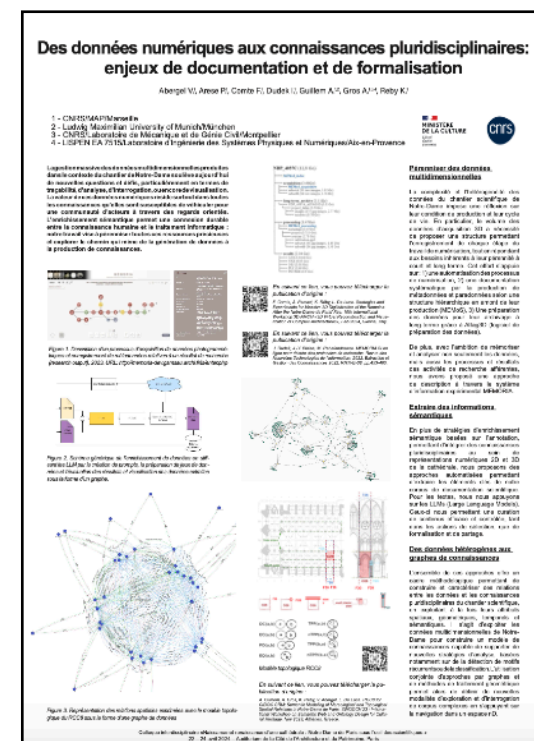
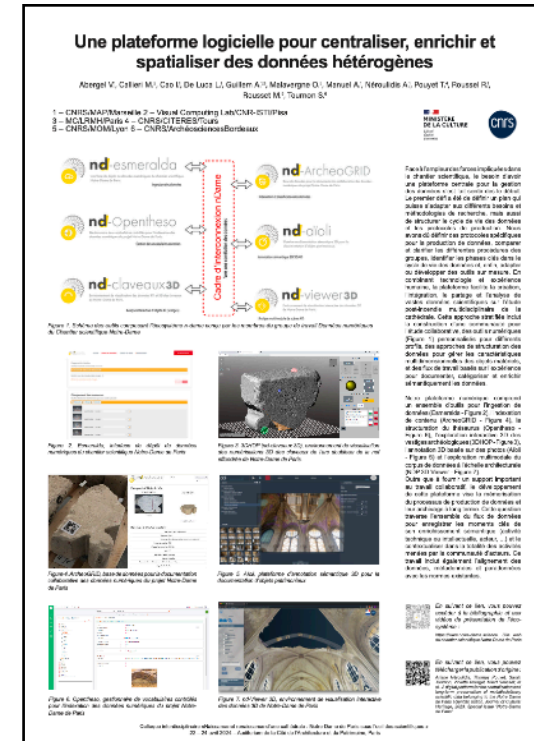
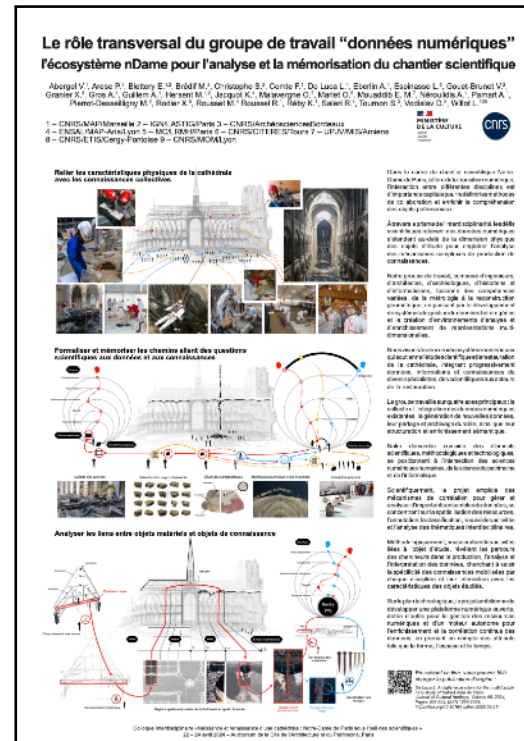
Dorothee Chaoui-Derieu, SRA DRAC Ile-de-France

Alexis Komenda, C2RMF

Catherine Lavier, C2RMF

Daniel Girardeau-Montaut, CloudCompare

Joël Marchand, Huma-Num



www.notre-dame.science

