



## La construction d'annotations sémantiques spatialisées des données de la cathédrale avec la plateforme aioli

Adeline MANUEL, MAP - UPR 2002 CNRS

Roxane ROUSSEL, 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



Annotation sémantique 2D/3D

En ligne

Collaboratif

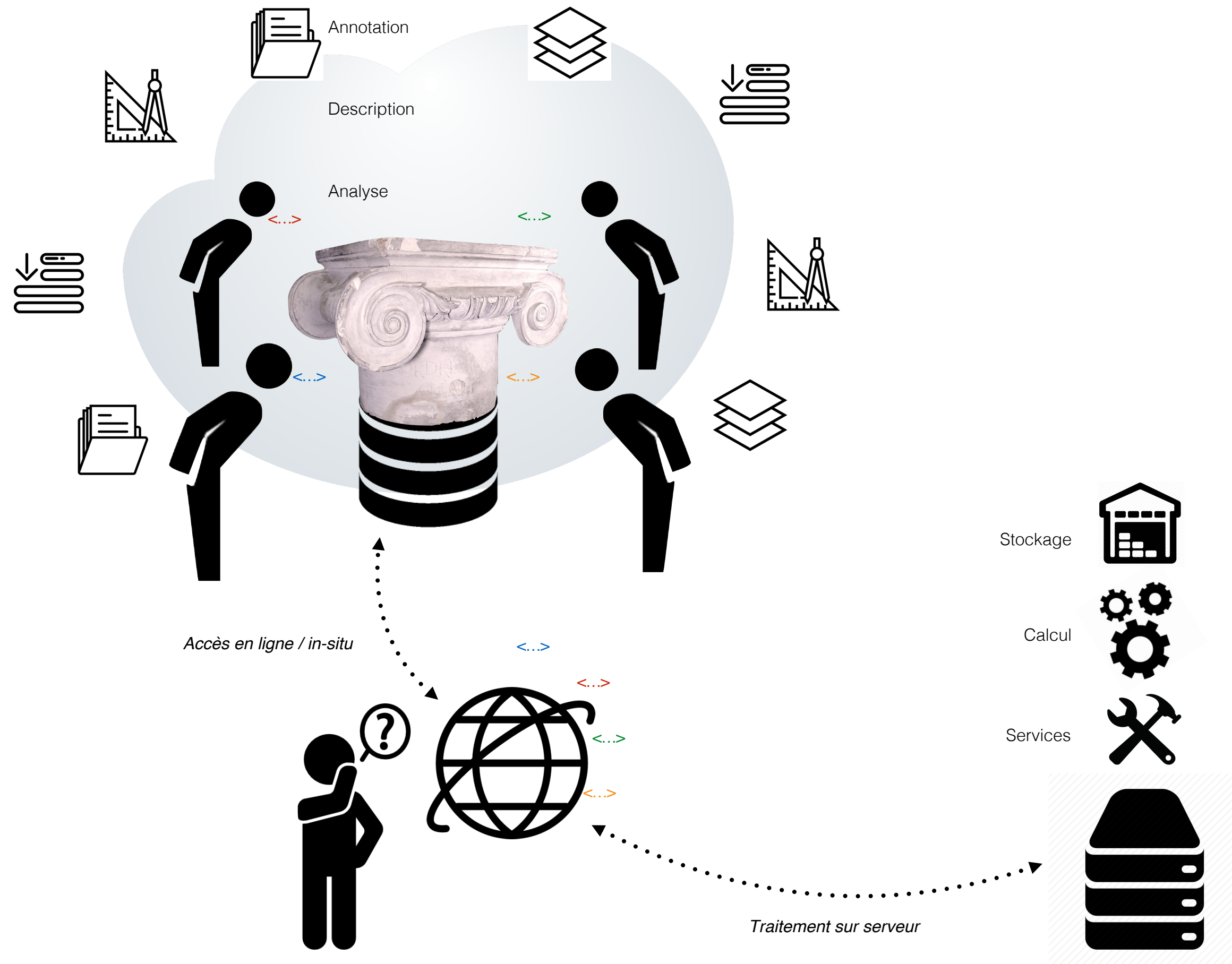
Utiliser l'objet patrimonial (l'objet physique) au coeur du processus de documentation numérique



archéologues, architectes, ingénieurs, spécialistes des matériaux, conservateurs, restaurateurs, enseignants, étudiants... tous produisent des observations sur l'objet patrimonial

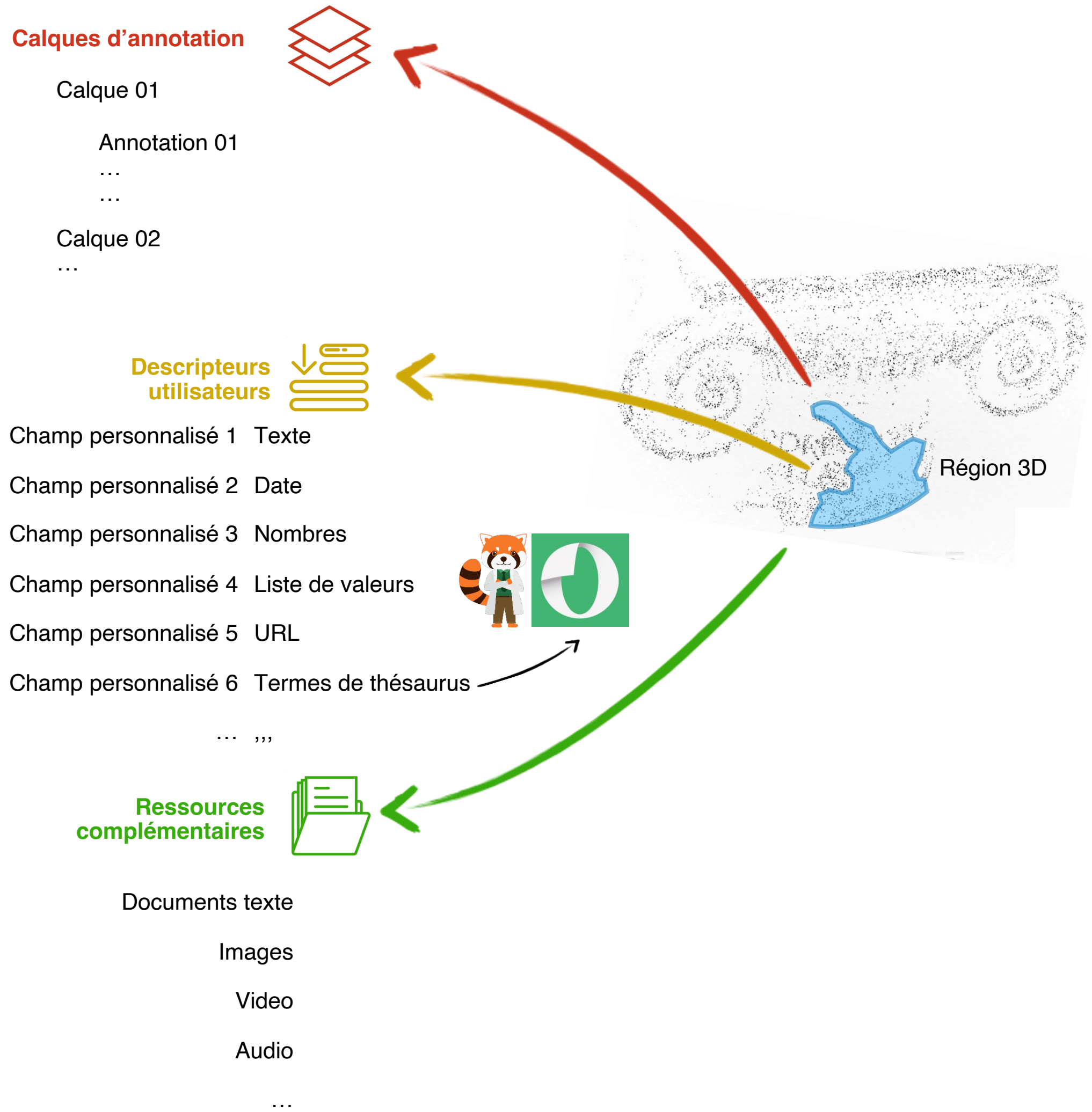
*probablement le seul dénominateur capable de fédérer acteurs, méthodes d'analyse, modèles de descriptions, ressources documentaires...*

## Un 'continuum d'informations' basé sur trois caractéristiques essentielles



- Un processus continu de numérisation et annotation 3D
- Structuration de données basée sur la morphologie
- Une technologie flexible et 'scalable'

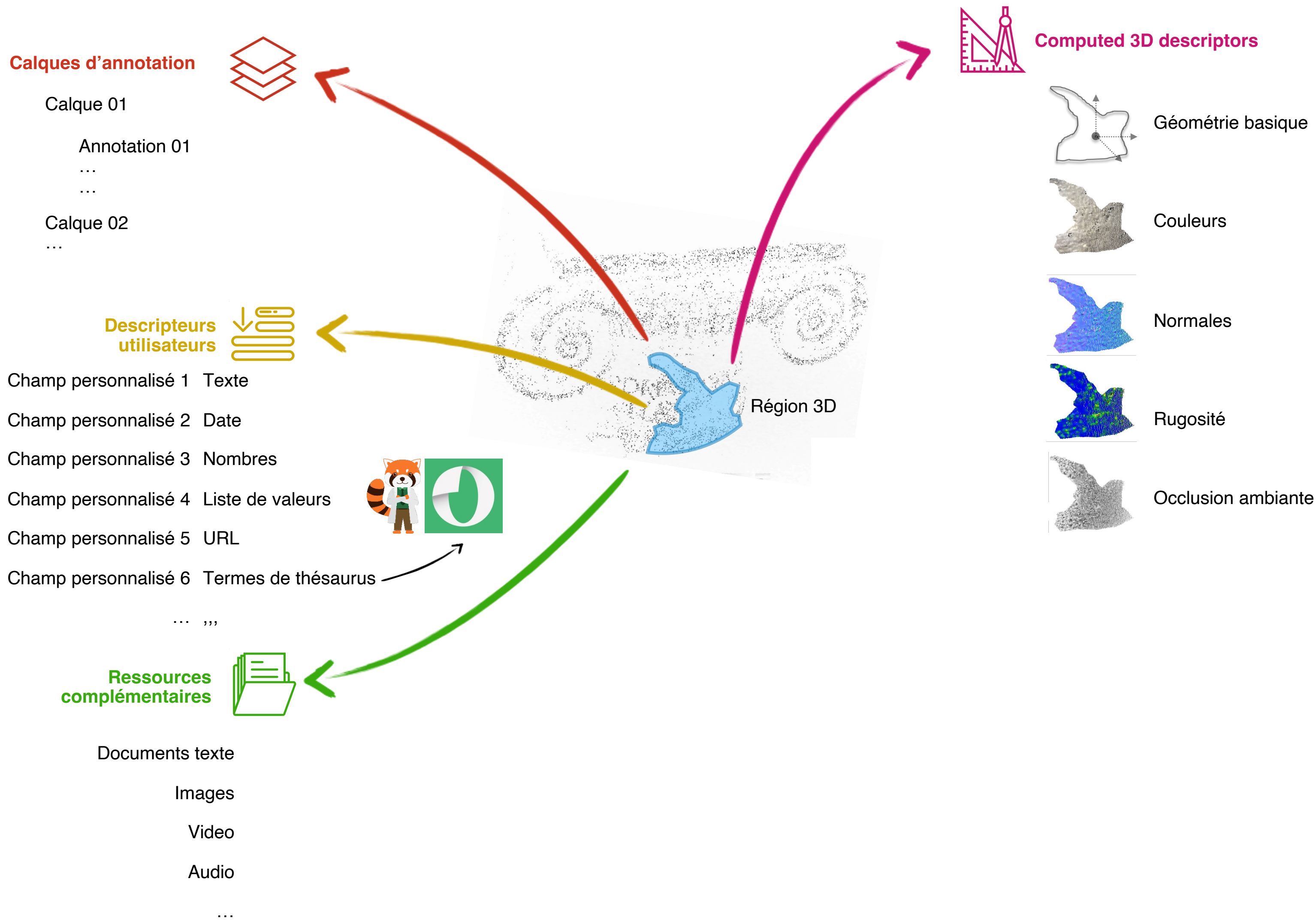
# Structuration des données



## Couche sémantique

*Descripteurs de l'utilisateur  
(texte, dates, chiffres, listes de valeurs, URL,  
...)  
Ressources complémentaires  
(documents, images, videos, son, ...)*

# Structuration des données



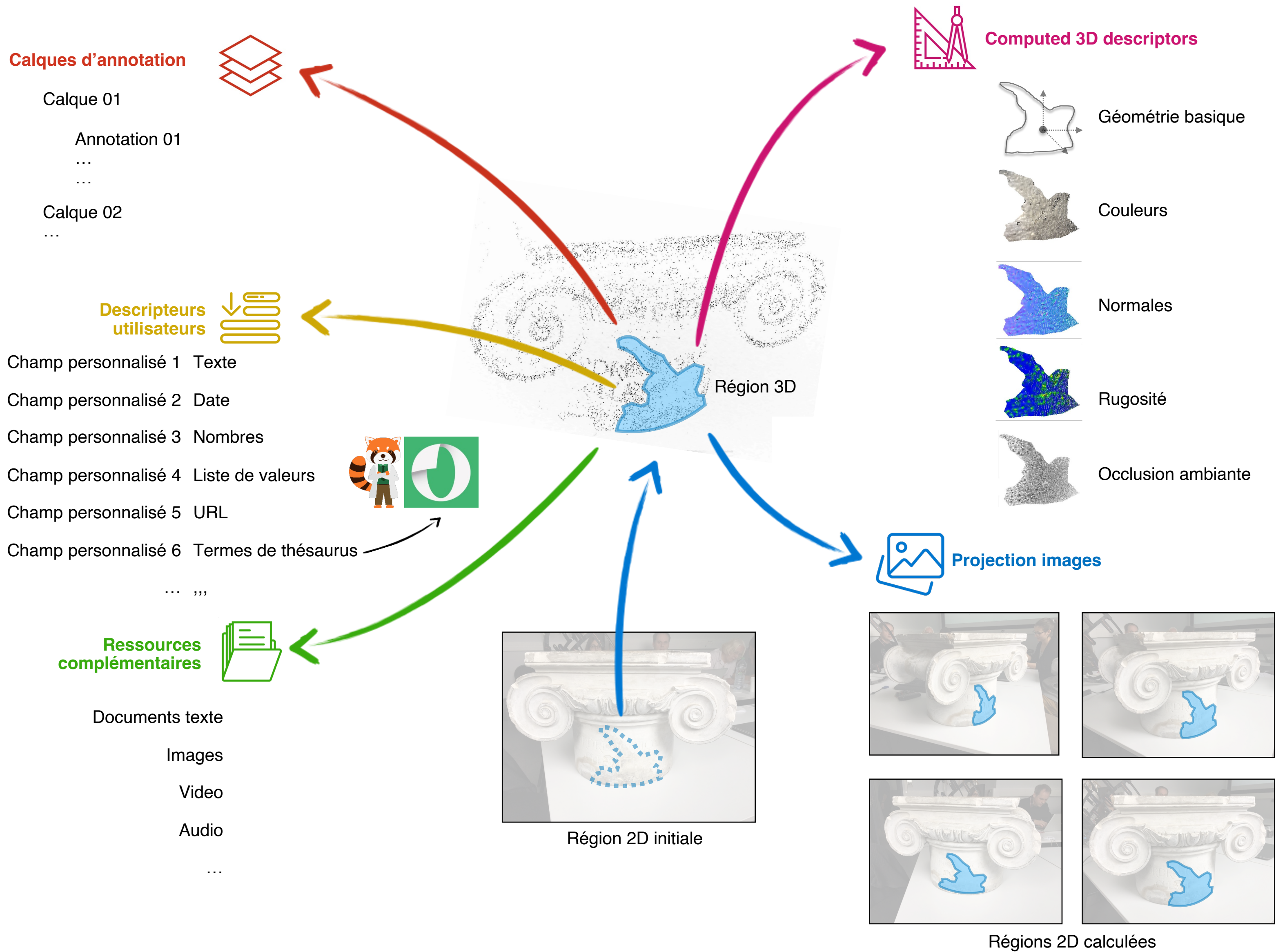
## Couche sémantique

*Descripteurs de l'utilisateur  
(texte, dates, chiffres, listes de valeurs, URL, ...)*  
*Ressources complémentaires  
(documents, images, videos, son, ...)*

## Couche morphologique

*Descripteurs 'calculés' (géométrie de base, couleurs, normales, rugosité, occlusion ambiante, ...)*

# Structuration des données



## Couche sémantique

*Descripteurs de l'utilisateur  
(texte, dates, chiffres, listes de valeurs, URL, ...)*  
*Ressources complémentaires  
(documents, images, videos, son, ...)*

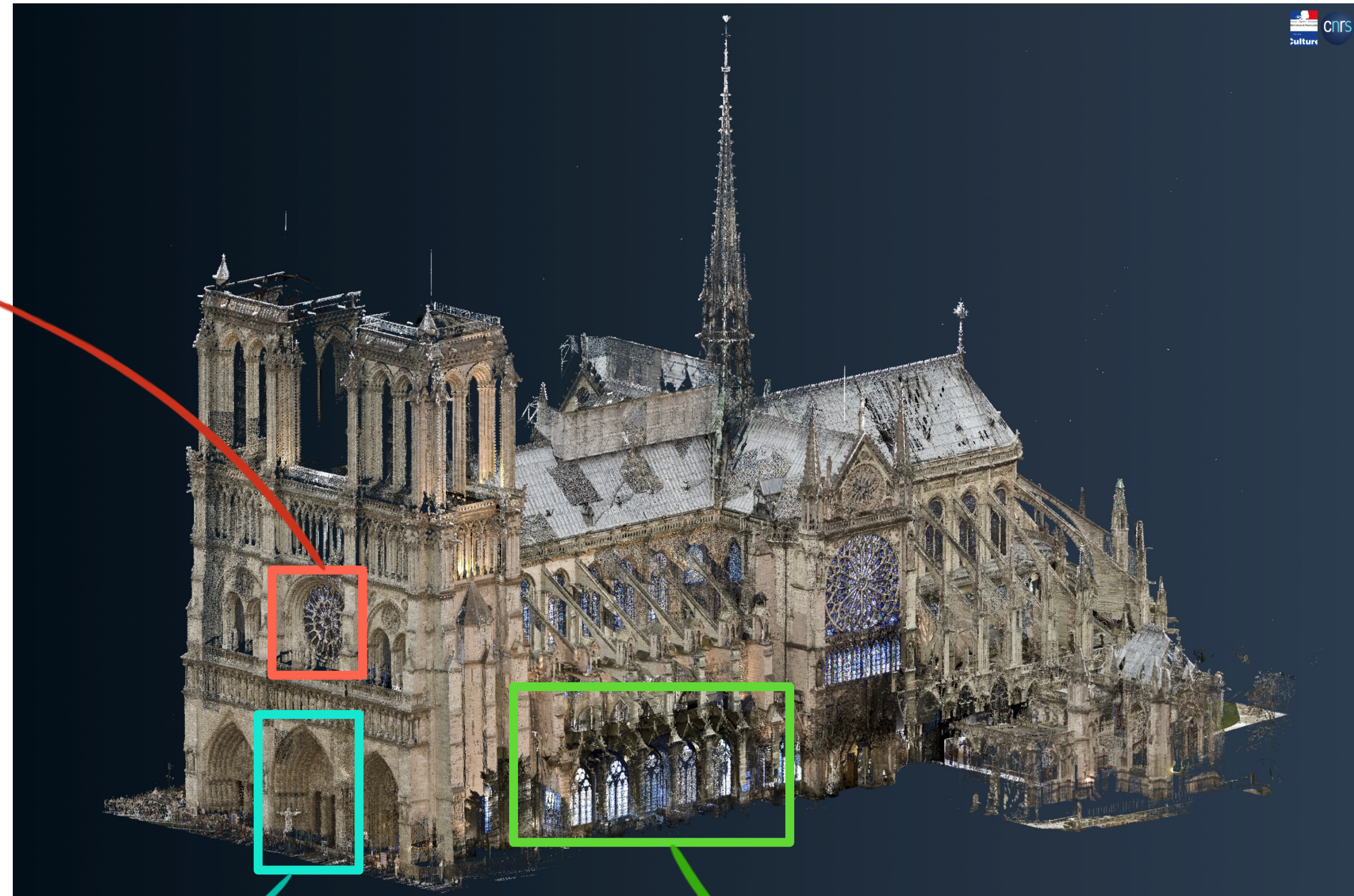
## Couche morphologique

*Descripteurs 'calculés' (géométrie de base, couleurs, normales, rugosité, occlusion ambiante, ...)*

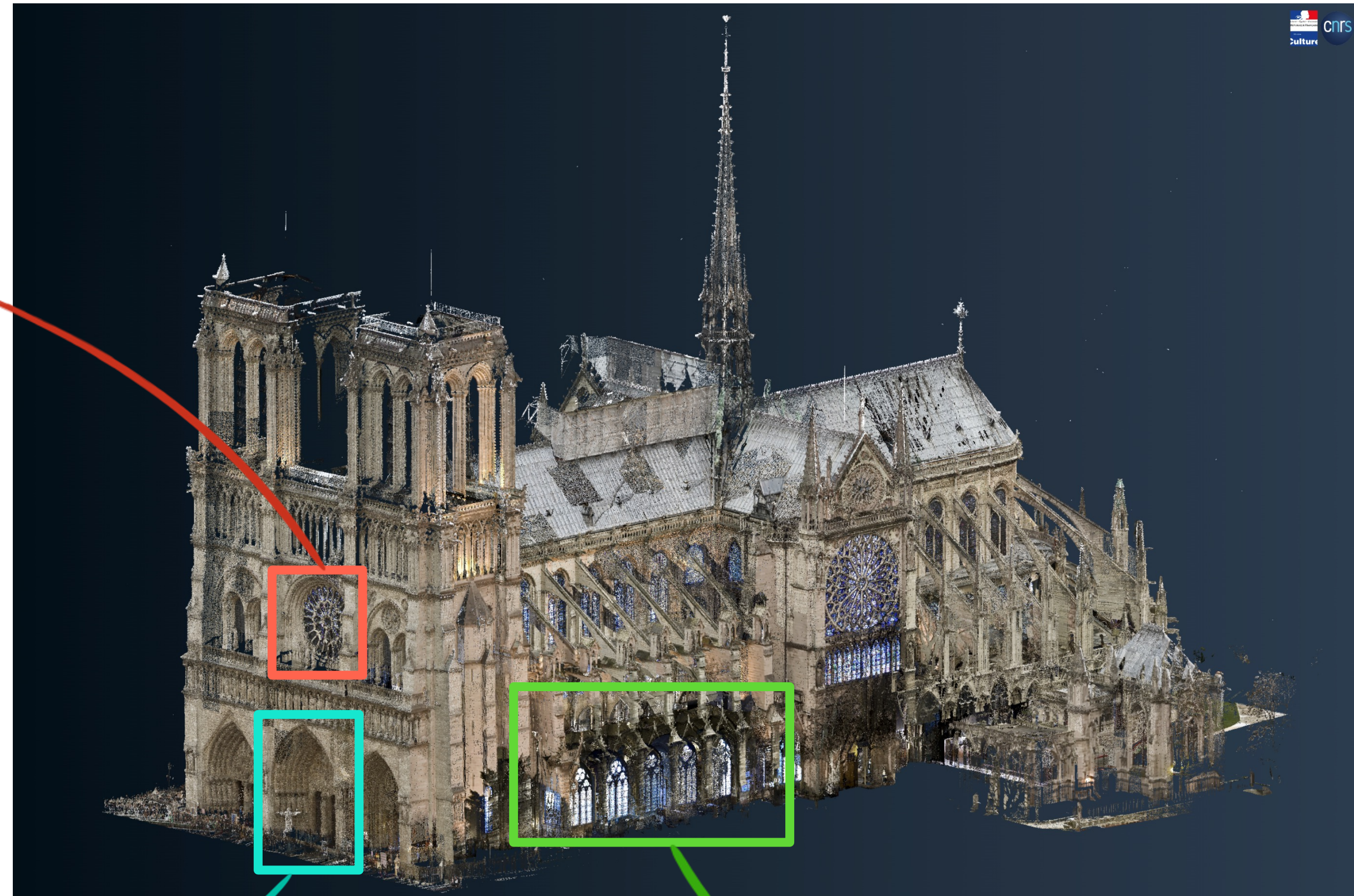
## Couche spatio-temporelle

*Localisation spatiale  
Distribution temporelle*

# Mise en cohérence



# Mise en cohérence



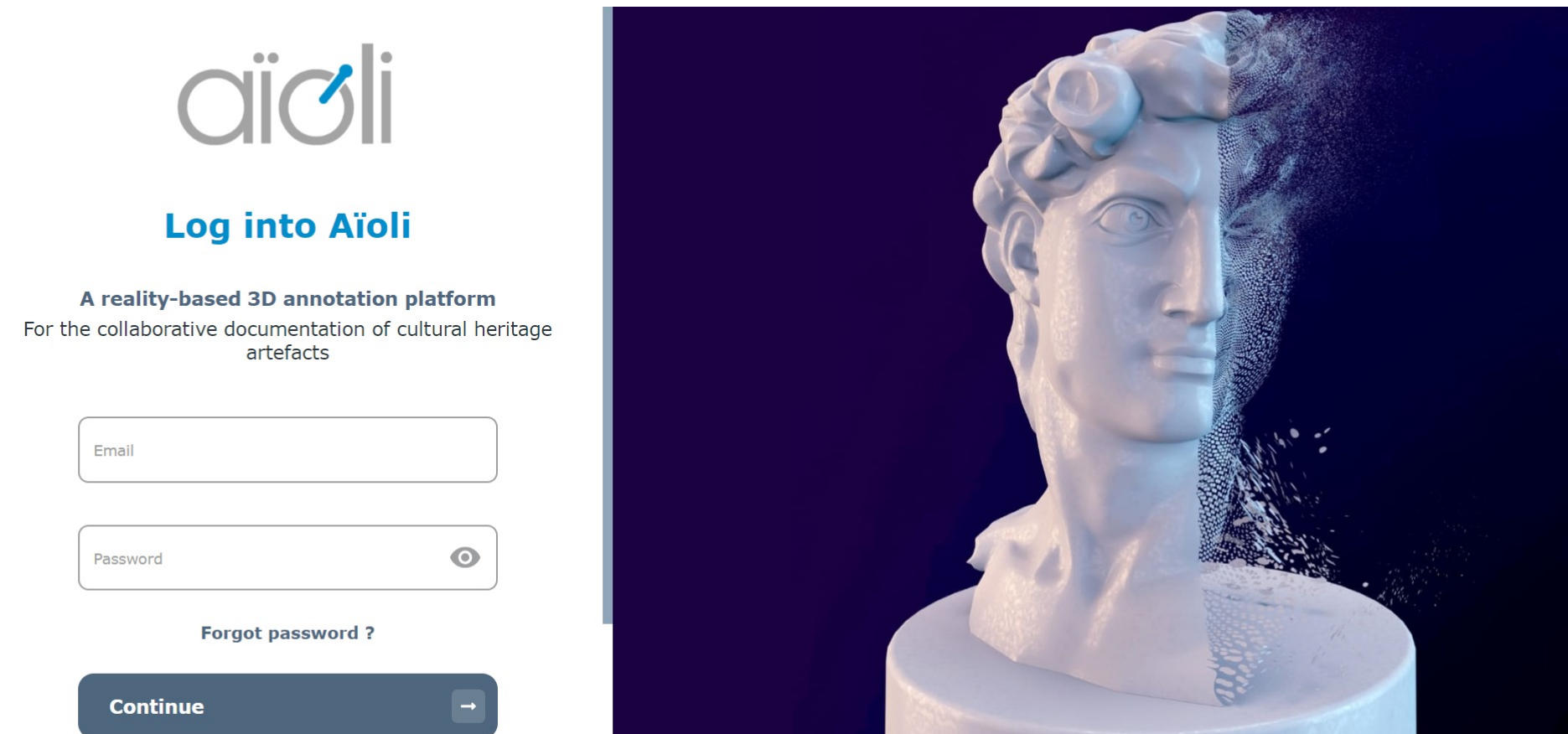
**Points d'appuis**  
*Correspondance pixels image et nuage de points*

**Interopérabilité**  
*Script Metashape*





# Nouvelle version

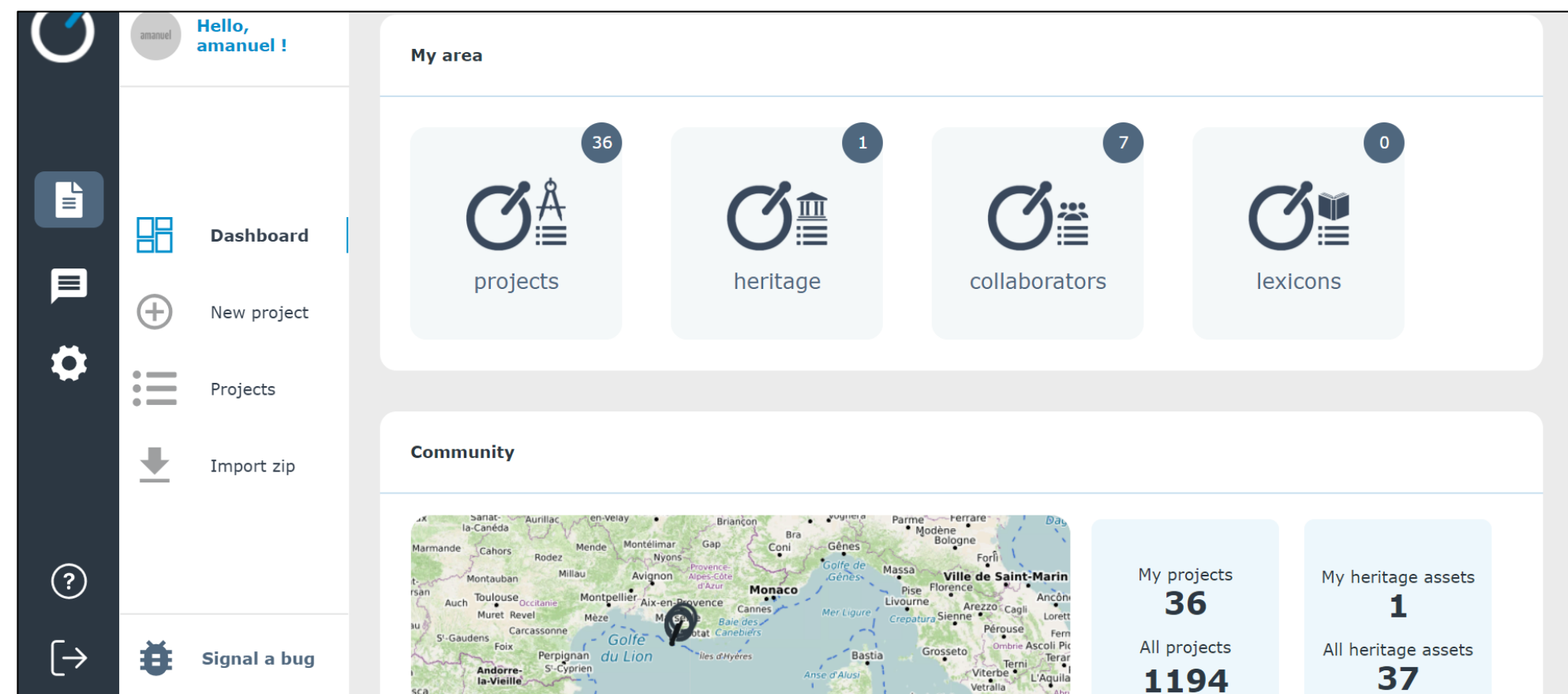


Refonte graphique

Gestion de l'attribution des droits d'écriture des collaborateurs d'un projet

Export et import de projet Aïoli

Duplication de projet



## II - LES PROJETS ET ANNOTATIONS SÉMANTIQUES SPATIALISÉES DES DONNÉES DE LA CATHÉDRALE AVEC LA PLATEFORME AÏOLI



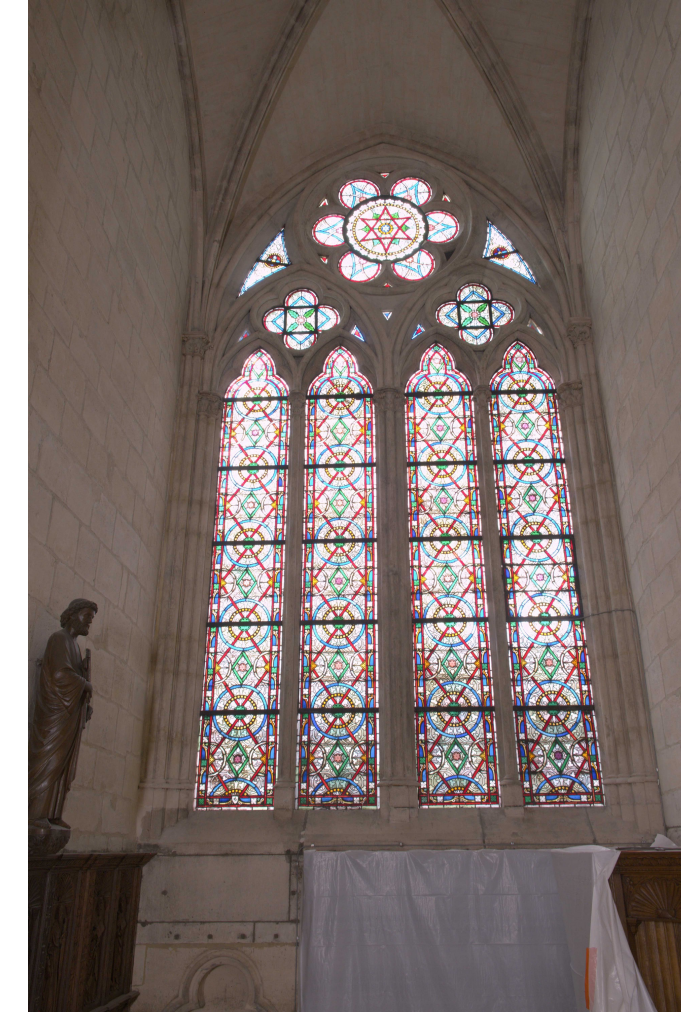
# Création des projets

Les données sources

ARCHITECTURE



Acquisitions photogrammétriques avant incendie (drone et boîtier ; source : AGP)



Acquisitions photogrammétriques et laser, après incendie (Gt-num)

100 000  
Images d'acquisitions

VESTIGES



Acquisitions photogrammétriques in-situ : cable cam (Gt-num)



Acquisitions photogrammétriques ex-situ : enjambeur, studio, dome... (Gt-num)



59 000  
Images sur aioli

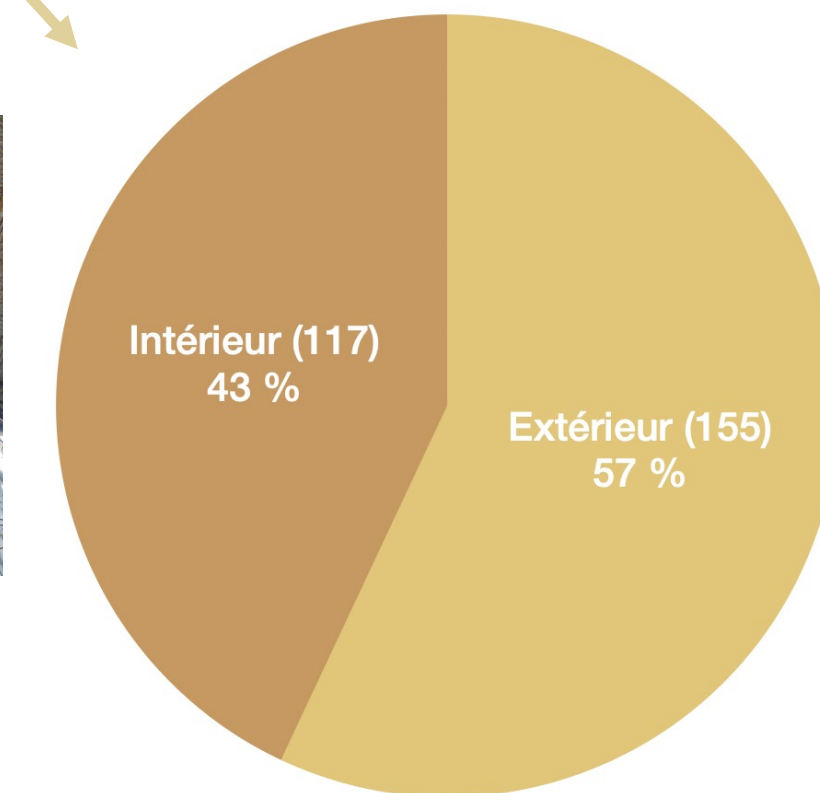
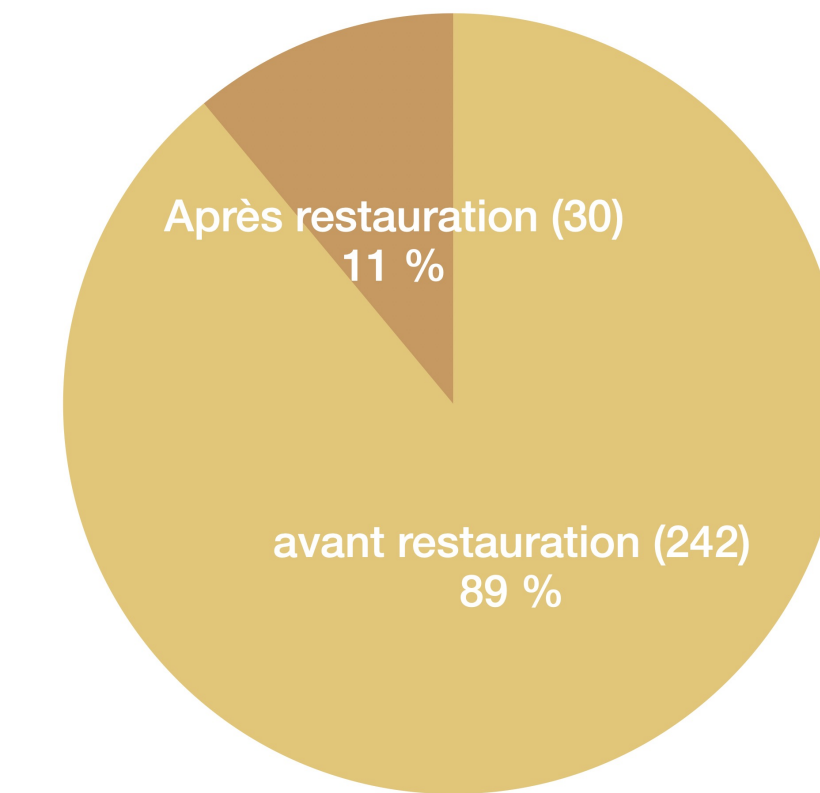
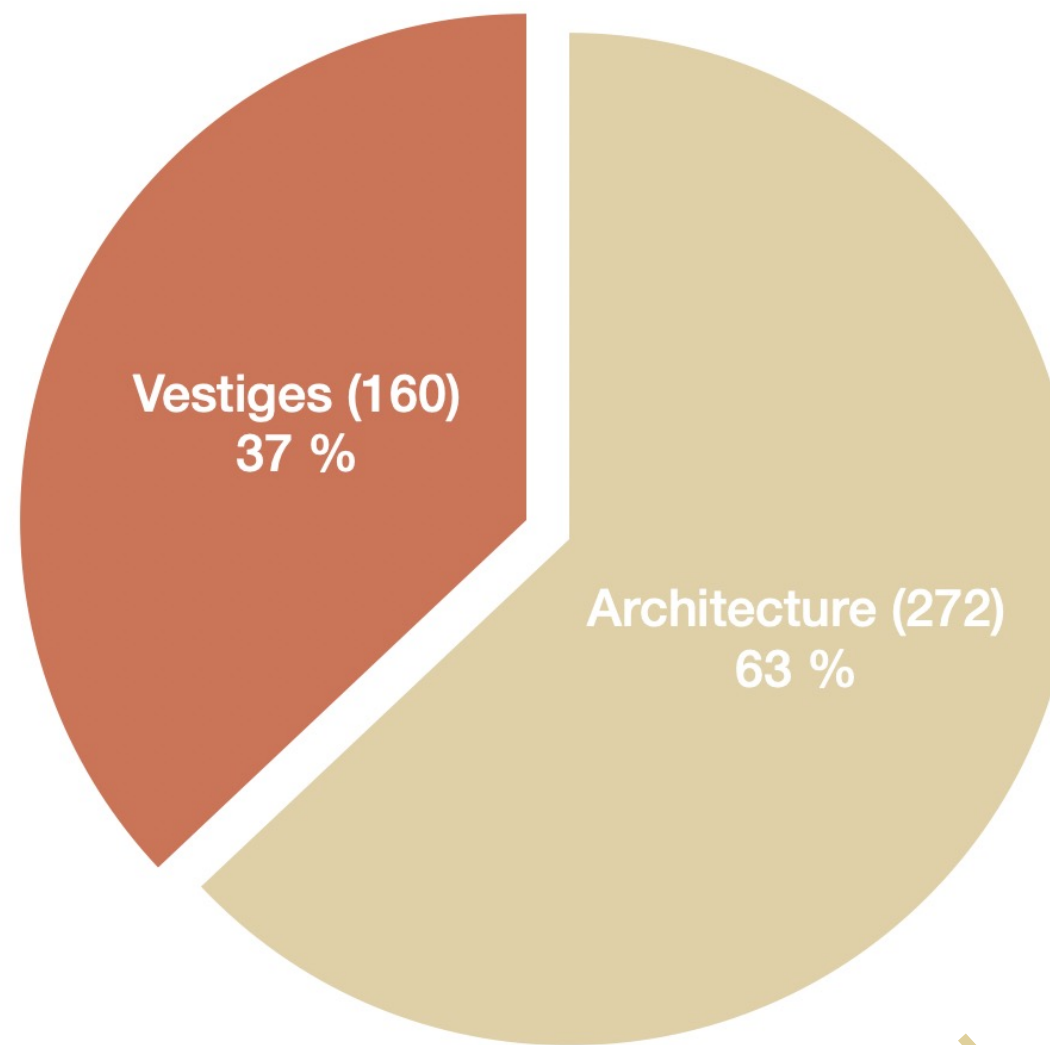
# Les projets

Collection de projets et leur sujet

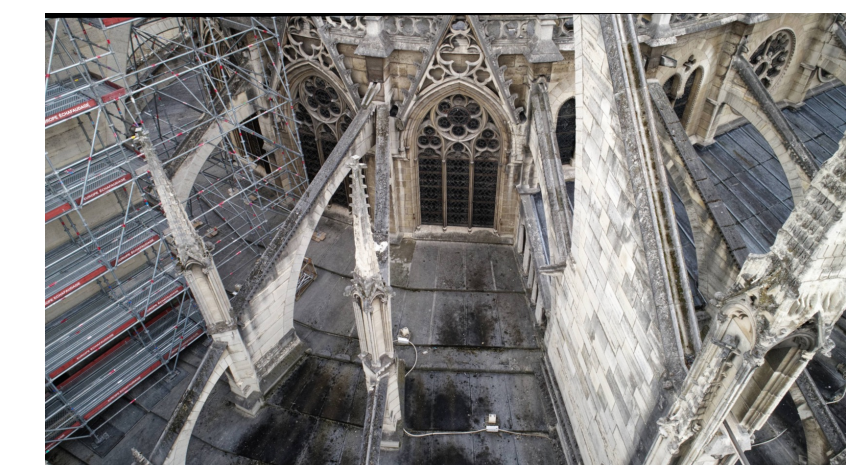
## 432 PROJETS



Exemples d'images appartenant aux projets de la chapelle 30 de la nef, avant et après restauration



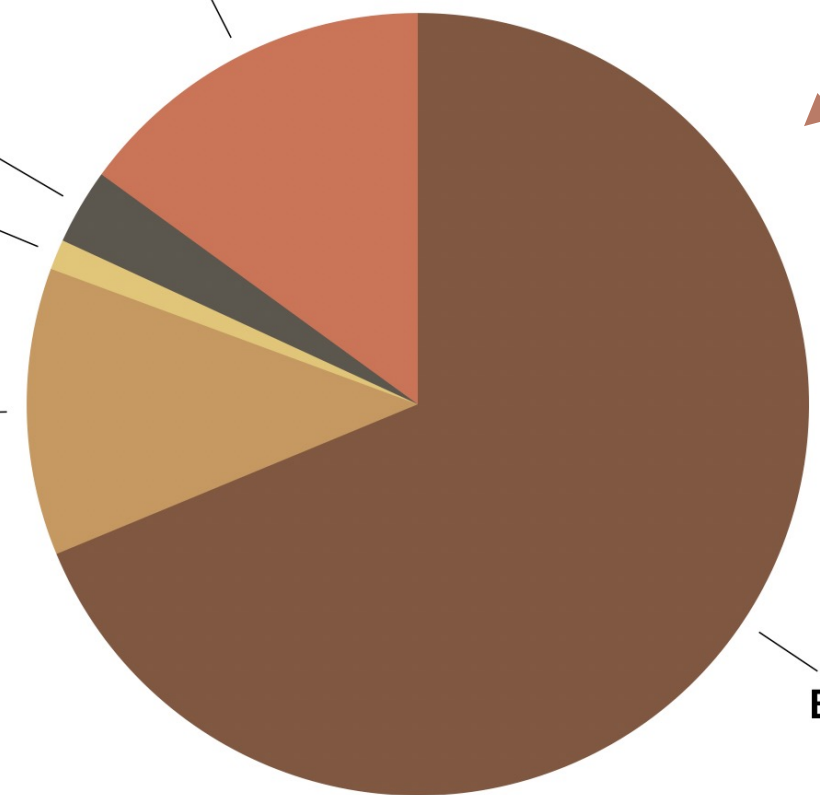
Exemples d'images appartenant aux projets intérieurs (ici voûtes) et extérieurs (contreforts) de la cathédrale



Statues (5)  
3 %



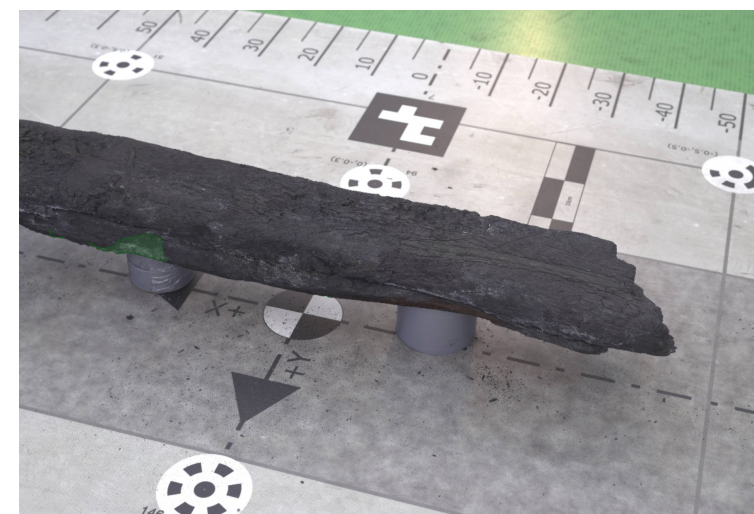
Chantier (24)  
15 %



Jubé (19)  
12 %

Métal (2)  
1 %

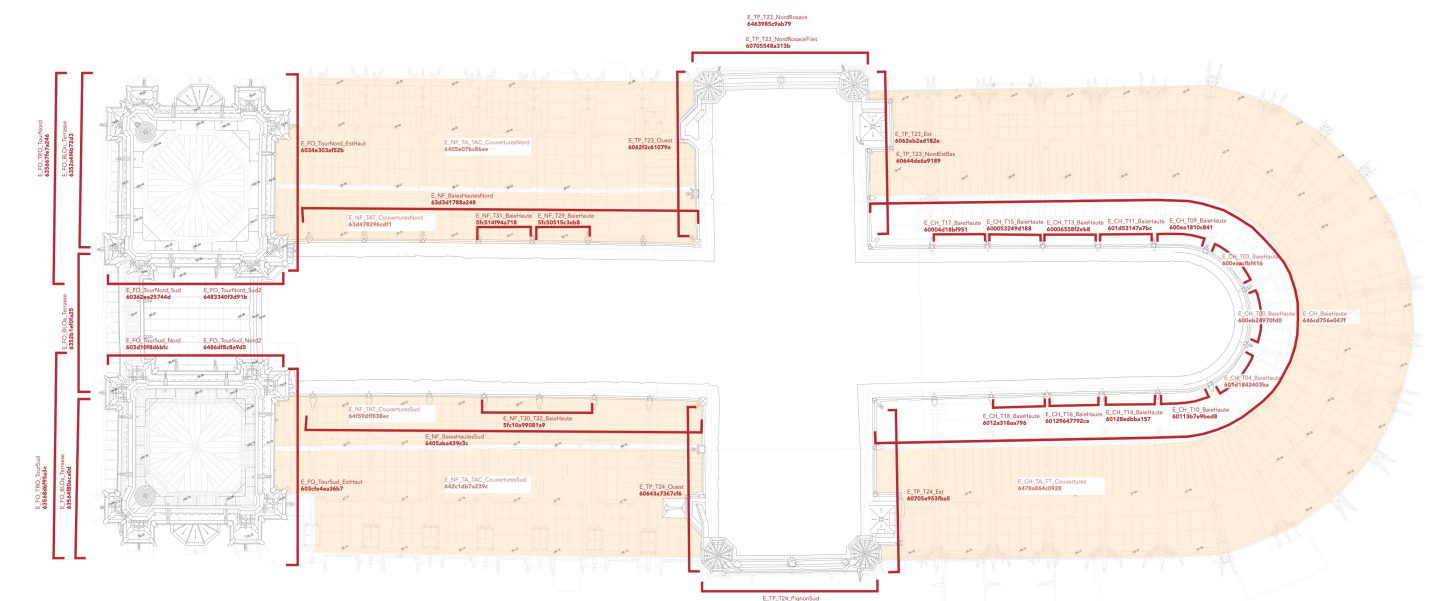
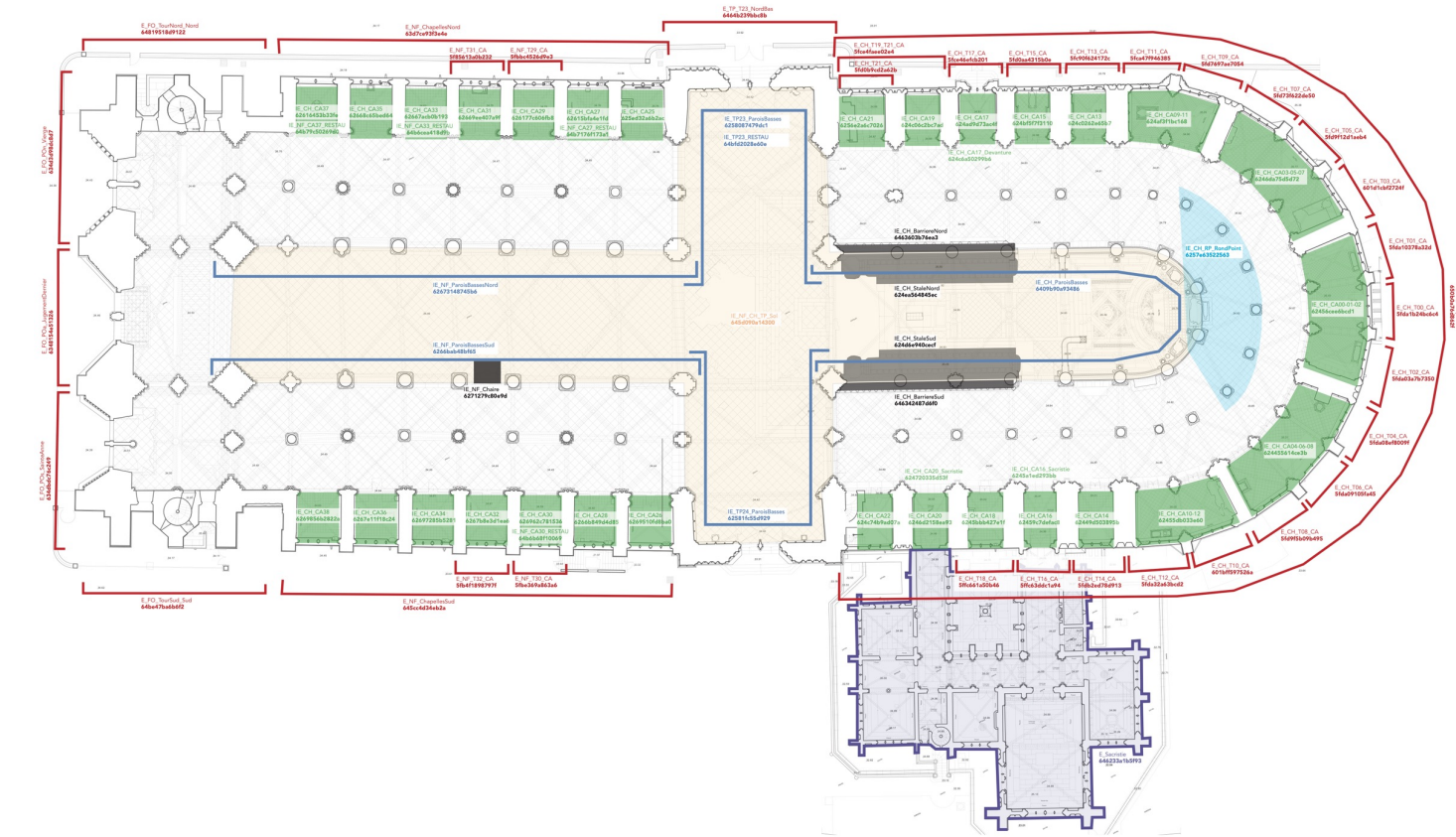
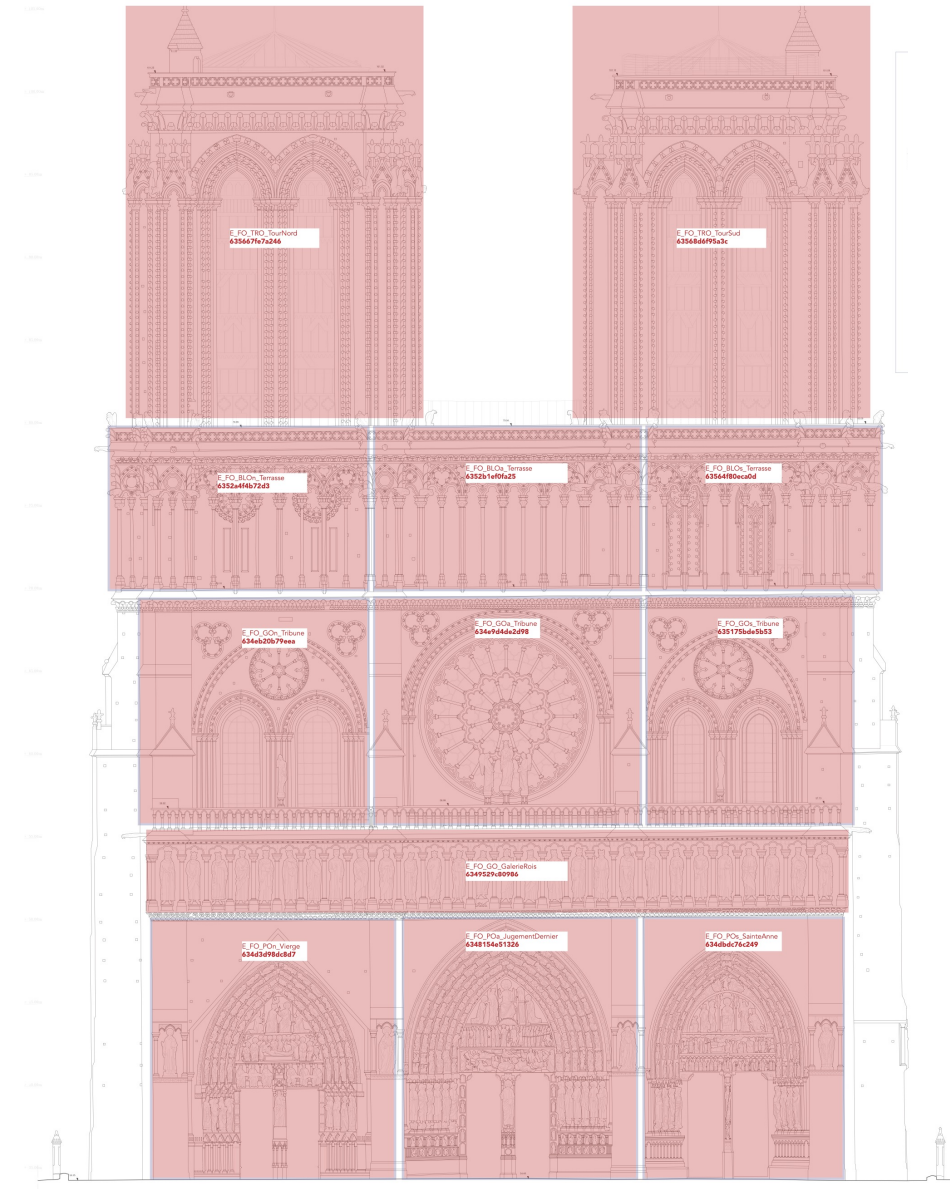
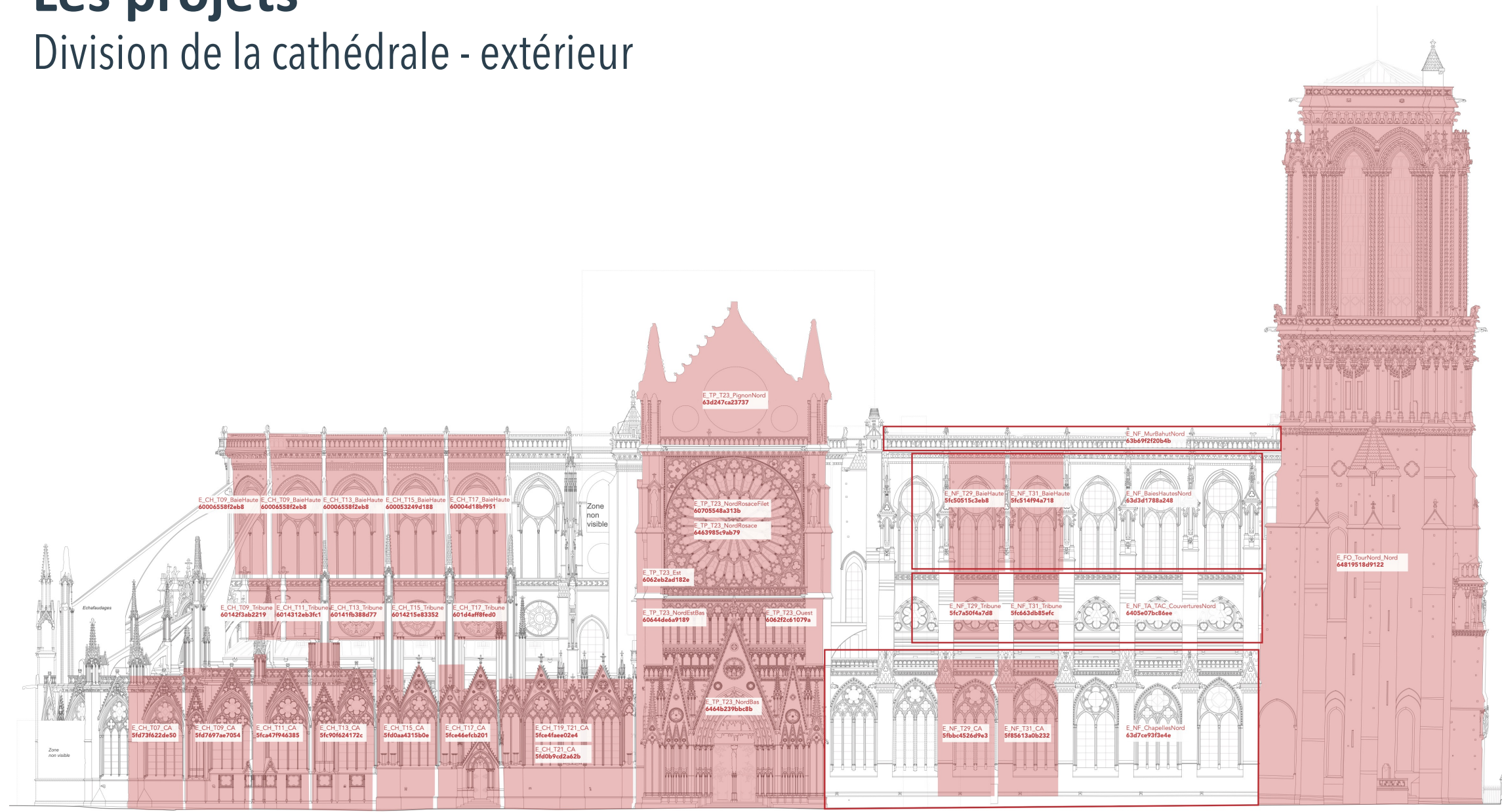
Exemples d'images appartenant aux différents projets identifiés comme des vestiges



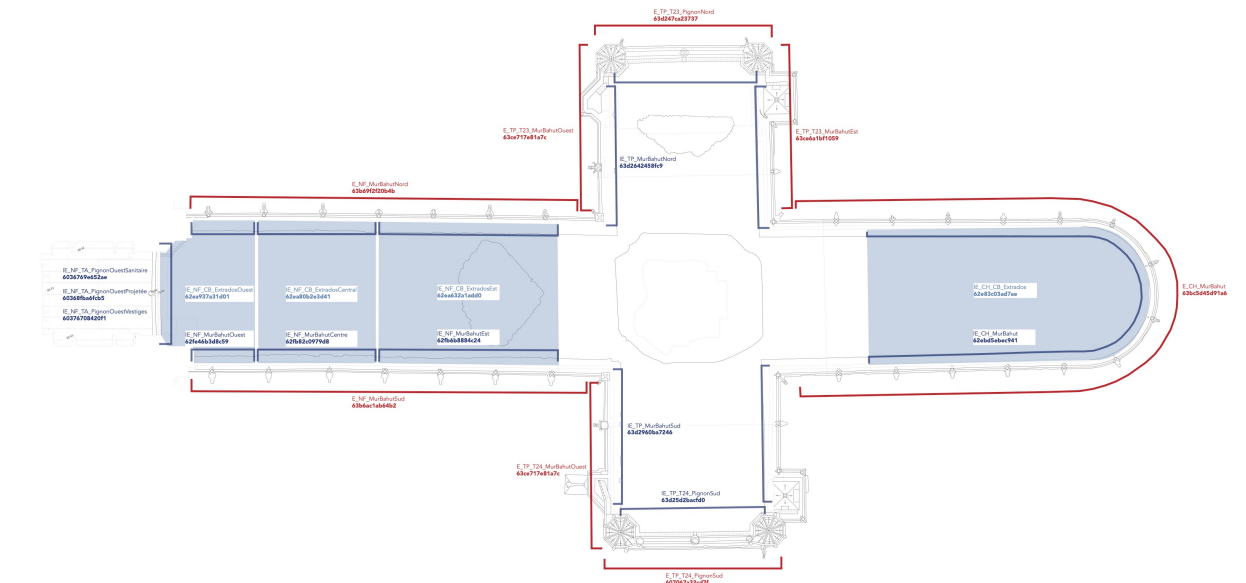
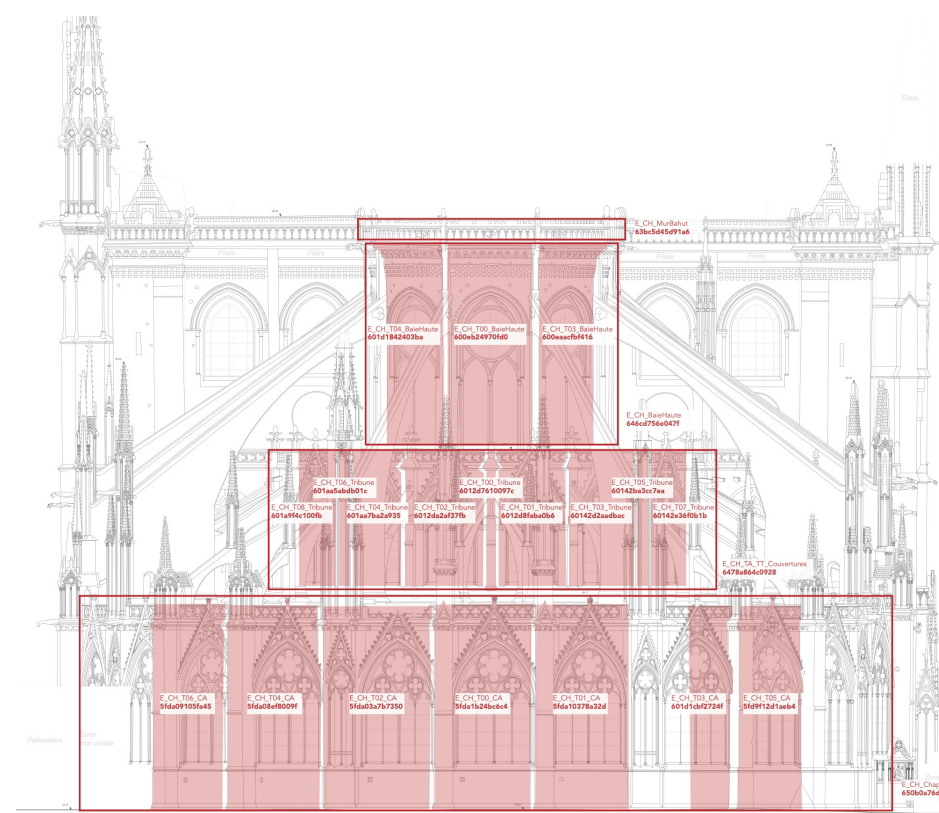
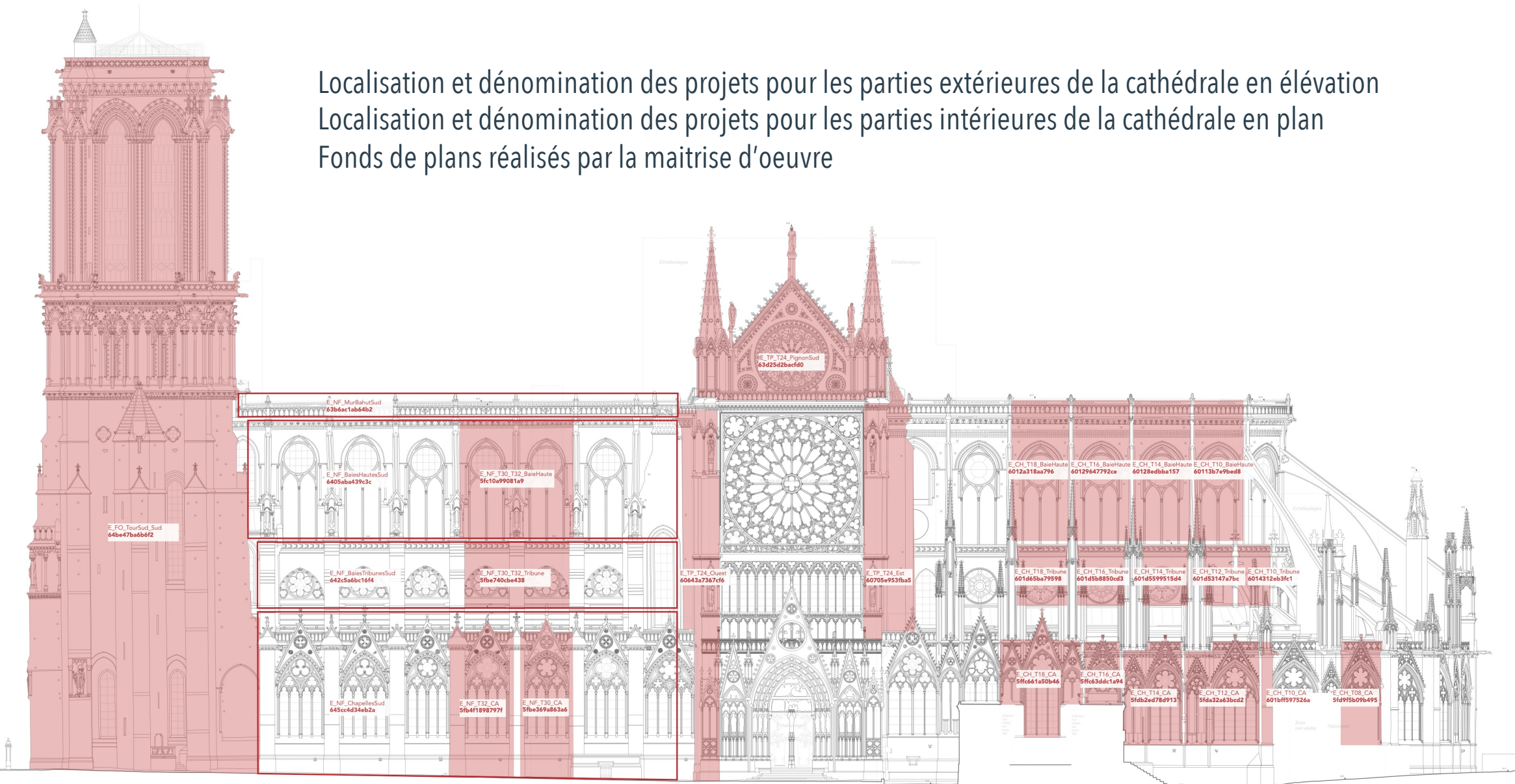
Bois (110)  
69 %

# Les projets

## Division de la cathédrale - extérieur



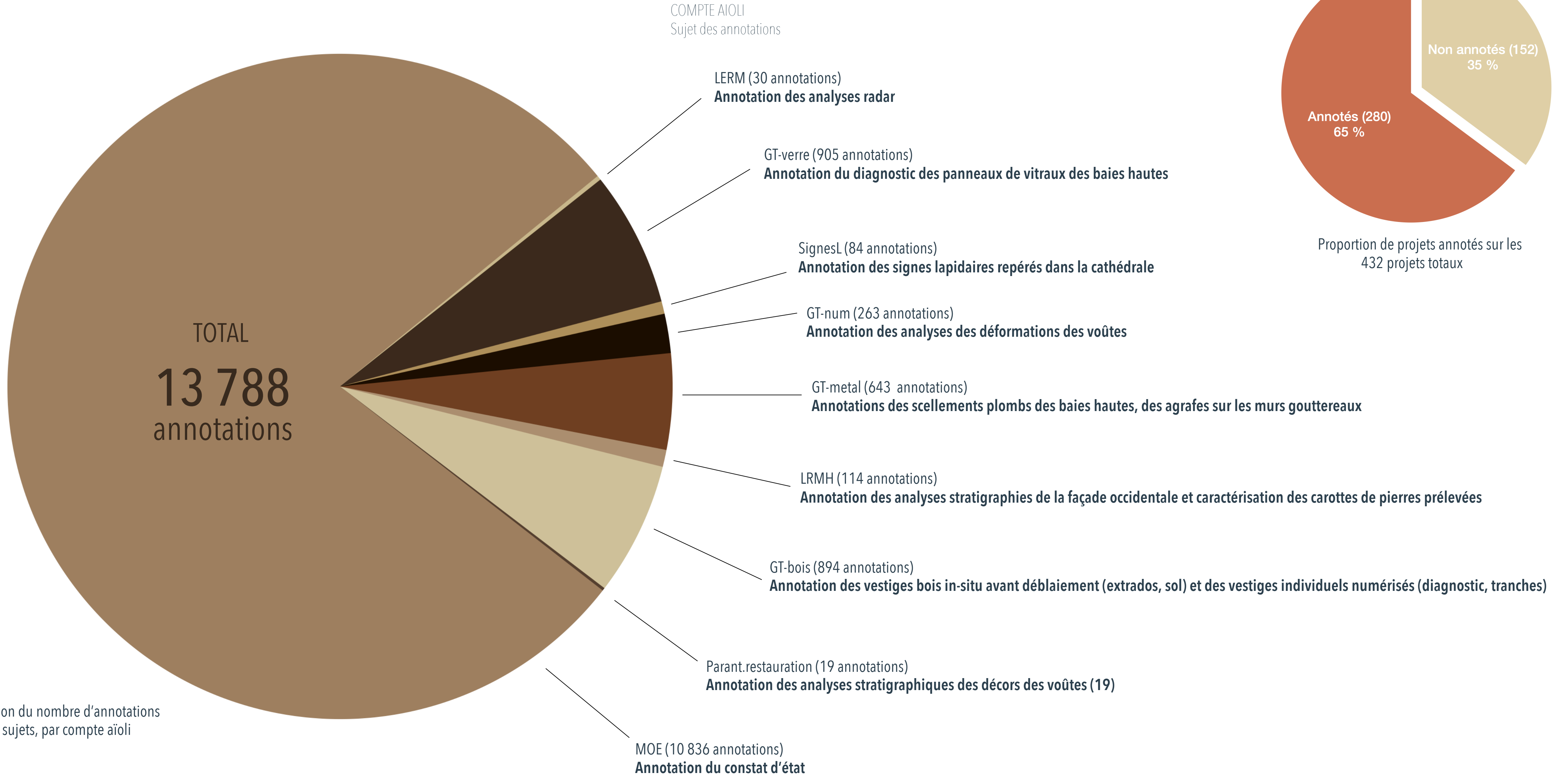
Localisation et dénomination des projets pour les parties extérieures de la cathédrale en élévation  
Localisation et dénomination des projets pour les parties intérieures de la cathédrale en plan  
Fonds de plans réalisés par la maîtrise d'oeuvre





# Annotation et enrichissement sémantique

13 788 annotations à travers 280 projets et 10 comptes



Répartition du nombre d'annotations et des sujets, par compte aioli

# Annotation et enrichissement sémantique

Qu'est-ce qu'on annote ?

**LOCALISATION**  
75 - CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS  
ÉTUDE DE DIAGNOSTIC à la suite de l'incendie du 15 avril 2019  
INTERIEUR Localisation : Nef Sud Travaux : 34  
Élévations Est, Ouest CA T34  
Chap. Sainte-Geneviève - CA 34 - Etat sanitaire NF C  
PHILIPPE VILLENEUVE, REMI FROMONT, PASCAL PRUNET Ech. : 1/50  
ARCHITECTES EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES Dec. 2020

**GENERALITES**  
Encadrement des maçonneries comprises dans l'espace confessionnel ancien d'une structure de verre et de métal

**STATUTS ET MOBILIER**  
Atelier en pierre sous protection provisoire à la suite de l'incendie, d'après dessin d'E. Viollet-le-Duc, 1867  
Statue de Sainte-Geneviève, par Adolphe-Victor Geoffroy-Dechaume, 1820  
Confessionnal en bois d'après dessin d'E. Viollet-le-Duc, 1860  
Grilles de clôture en fer forgé, peintes en marron  
Piscine liturgique

**ETAT SANITAIRE - Légende**  
Infiltration d'eau, traces d'humidité sur les voiles correspondant au niveau des couvertures des chapelles  
Infiltrations et efflorescences salines  
Bouillons, ragréages ciment et/ou chaux hydraulique.

**INTERVENTIONS PROJETÉES**  
Interventions projetées sous réserve des résultats du chantier des chapelles hautes

**DECONTAMINATION**  
Aspiration par canot d'état des zones stables selon la protocole LPM (sol, plâtre, vitraux, grille de clôture, mobilier et statuaire).  
Décontamination par aspiration TIE et brossage de la pierre.

**MAÇONNERIES ET SCULPTURES**  
Précaution de la maçonnerie et des éléments de sculpture fragiles ou instables.  
Purge des surfaces pulvérisées, instables ou non consolidées, purge des joints en plâtre, en ciment ou non adhérents.  
Nettoyage et dépollution des parois avec brosses sans contaminants ; nettoyage des surfaces résiduelles et des joints au laser.  
Consolidement par compresses adhésives à la grèsolite de la pierre ; préalable pour analyse des taux de sel soluble après chaque cycle.  
Traitement d'humidification élastique par eau de chaux ou eau forte légèrement teintée.

**SOL**  
Régénération en recherche comprise purge des joints dégradés.

**GRILLES DE CLÔTURE**  
Remise en état des sculptures au plomb.  
Nettoyage au laser humide.

**MENUISERIES**  
Nettoyage et grège du mobilier et des menuiseries bois.

CONSTAT D'ETAT NORMALISE  
Cathédrale Notre-Dame de Paris Baie/panneau : 228/a12

Atelier : ATELIERS DUCHEMIN Région : ILE-DE-FRANCE  
Date du constat : 04/11/2020 Département : PARIS  
Commune : PARIS 4<sup>ème</sup> arrondissement  
Edifice : CATHEDRALE NOTRE-DAME

Baie / panneau : 228  
N° BAIE (CVMA) : 228  
N° panneau : #12  
Dimension panneau : : 28.5x69.5cm

**1 Photographies nécessaires :**  
(face interne lumière transmise) Commentaire (si nécessaire) :

(face externe lumière réfléchie) Commentaire (si nécessaire) :

**2 constat par panneau**  
Etat des plombs :  
 Plomb fondus :  
 Plombs cassés :  
 Réseau de plomb faible  
 Projection de plomb provenant de la toiture en face externe

Commentaires :  
- Précision de remise en plomb  
- Changement du plomb d'entourage

**Altérations mécaniques du verre**  
 Pièces manquantes ou disparues, y compris lacunes  
x Cassettes simples : 1  
 Cassettes multiples :  
 Cassettes arrondies (liées au choc thermique) :

Commentaires : Poussière importante face interne

**3 Consolidation sur site lors de la dépose**

Encollage avec consolidant	Face interne	Face externe
Adhésif	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre intervention :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Commentaires (préciser la méthode) :

**4 Commentaires généraux (difficultés rencontrées) :**

NDP\_SSN584 - Faux-entrait - env. 1.02 m  
Extrados nef travée 3, entre n02 et n03, faux-entrait 5100n1 et n2 ou A B7 - cf 4076, 5501, 5014

vue de la face supérieure

profil

vue de la face inférieure

mortaise préparée à la tarière

boulon pour moise

tronçonné sur site

Légende  
tranches dendro  
noeud  
tiges boulonnées  
moelle  
restitution des dimensions d'origine

DCE et Étude de diagnostic à suite de l'incendie, P. Villeneuve, R. Fromont, P. Prunet

Constat d'état normalisé des panneaux des baies hautes, par atelier (ici Ateliers Duchemin)

Fiches synthétiques d'analyse des bois, GT-bois, C. Penagos, M. Lafarge

Exemple lecture tableau

Numéro signe lapidaire	Numéro symbole	Nom symbole	Nom élément architecture	Localisation	Orientation/Détail	Assise	Photo	Intérieur/Extérieur
457	41	W	C22-CH	Choeur	Entre colonnettes 1 et 2	12		Intérieur
461	101	Serpent	C22-CH	Choeur	Entre colonnettes 9 et 8	6	118039	Intérieur

Puisque nous avons fait cette prospection en fonction des accès avec les échafaudages, il y a certaines grosses colonnes qui ont été observées en plusieurs fois, ainsi la nomenclature des détails d'une colonne se faisait en fonction de ces passages car on n'avait pas le temps de rentrer ces données au fur et à mesure, de plus, se repérer spatialement dans la cathédrale avec les échafaudages était parfois compliqué. Il y a donc plusieurs nomenclatures pour une même colonne. Par exemple, le jour 1 la nomenclature de la colonne 22 du chœur suivait la nomenclature en jaune et le jour 2 une autre nomenclature avait été prise: la rouge.

2 signes ont été trouvés à l'intérieur de la cathédrale sur la colonne C22 du chœur:-  
-à l'assise numéro 12 (en comptant à partir du sol), dont le nom du symbole est W, c'est le symbole 41, et c'est le 457<sup>ème</sup> signe trouvé. Il a été localisé entre la colonnette 1 et 2 de la nomenclature rouge.  
-à l'assise numéro 6, dont le nom du symbole est serpent, c'est le symbole 101 et c'est le 431<sup>ème</sup> signe trouvé. Il a été localisé entre la colonnette 9 et 8 de la nomenclature orange.

Identification des types de scellements des baies hautes, GT- métal, A. Azéma


457	41	W	C22-CH	Choeur	Entre colonnettes 1 et 2	12		Intérieur
461	101	Serpent	C22-CH	Choeur	Entre colonnettes 9 et 8	6	118039	Intérieur

Données des analyses stratigraphiques de la façade occidentale - GT-Décor, S. Duchêne



# Annotation et enrichissement sémantique


Fiches de description et fichiers joints

 **Annotation**


## Prelevement\_17

Numéro de coupe: 4877  
Numéro de prélèvement: Prélèvement 17  
Date de prélèvement: 1994-03-29  
Date du rapport dans lequel le prélèvement est analysé: 1994-09-21  
Numéro du rapport dans lequel le prélèvement est analysé: 403D  
Localisation (normalisée): Portail du Jugement dernier ; tympan ; registre supérieur  
Localisation précise (champs libre): Personnage agenouillé derrière l'ange à la droite du Christ ; bas du vêtement ; rouge  
Couche 1: Blanc de plomb  
Couche 2: Ocre jaune  
Couche 3: Ocre rouge  
Couche 4: Vermillon  
Datation présumée: Polychromie ancienne  
Remarques et observations: /  
Couche 6: /  
Couche 5: /  
Support: /  
Nature de la pierre (établie d'après les rapports)

Attached image




Attached image



Fiche de description et fichiers joints d'un prélèvement stratigraphique


Données : Stéphanie Duchêne  
Localisation : Portail du jugement dernier

 **Annotation**

## 438\_103

Numéro signe lapidaire: 438  
Numéro symbole: 103  
Nom symbole: ptérodactyle  
Nom élément architecture: C22-CH  
Localisation: Chœur  
Orientation/Détail: Entre colonnette 4 et 5  
Assise: 14  
Photo: 118488  
Intérieur/Extérieur: Intérieur

Attached image



Fiche de description et fichiers joints d'un signe lapidaire

Données : Delphine Syvilay  
Localisation : Piles du vaisseau central du choeur

 **Annotation**


## 4076A\_Tranche\_46-59

Hauteur de coupe: 46 à 59 cm

Attached image




Attached image



Fiche de description et fichiers joints du vestige d'un Entrait bois

Données : Clara Penagos  
Localisation : Numérisation ex situ

 **Annotation**

## CA17\_VITRAUX

Nom: BAIE 17 : VEGETAL - BLASON  
Panneaux de vitraux - Date: Xème siècle 1864  
Panneaux de vitraux - Auteur: A. Lussion  
Panneaux de vitraux - Type: Verrière géométrique en grisaille polychrome  
Panneaux de vitraux - Thème iconographique: Végétal  
Panneaux de vitraux - Etat de conservation: Panneaux en place, état passable. Salissure  
Armatures fixes - Type: Barlotière XIXème corrodés  
Armatures fixes - Type de pose: Intérieure  
Armatures fixes - Protection grillagée: En place, fixée sur barlotières, corrodées  
Intervention: DECONTAMINATION : . Aspiration par corps d'état des zones stables selon le protocole LRMH (sol, décors peints, vitraux, grille de clôture, mobilier et statuaire). Dépoussiérage par aspiration THE et brosse douce ou au pinceau. VITRAUX : . Nettoyage avec un mélange à l'eau et à l'éthanol (coton imbibé) des panneaux. . Reprise du calfeutrement des vitraux en recherche.  
Source de l'annotation: CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS - Etude de Diagnostic à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Pascal PRUNET, Architectes en Chef des Monuments Historiques - Décembre 2020

Fiche de description et fichiers joints du vitrail de la chapelle 17

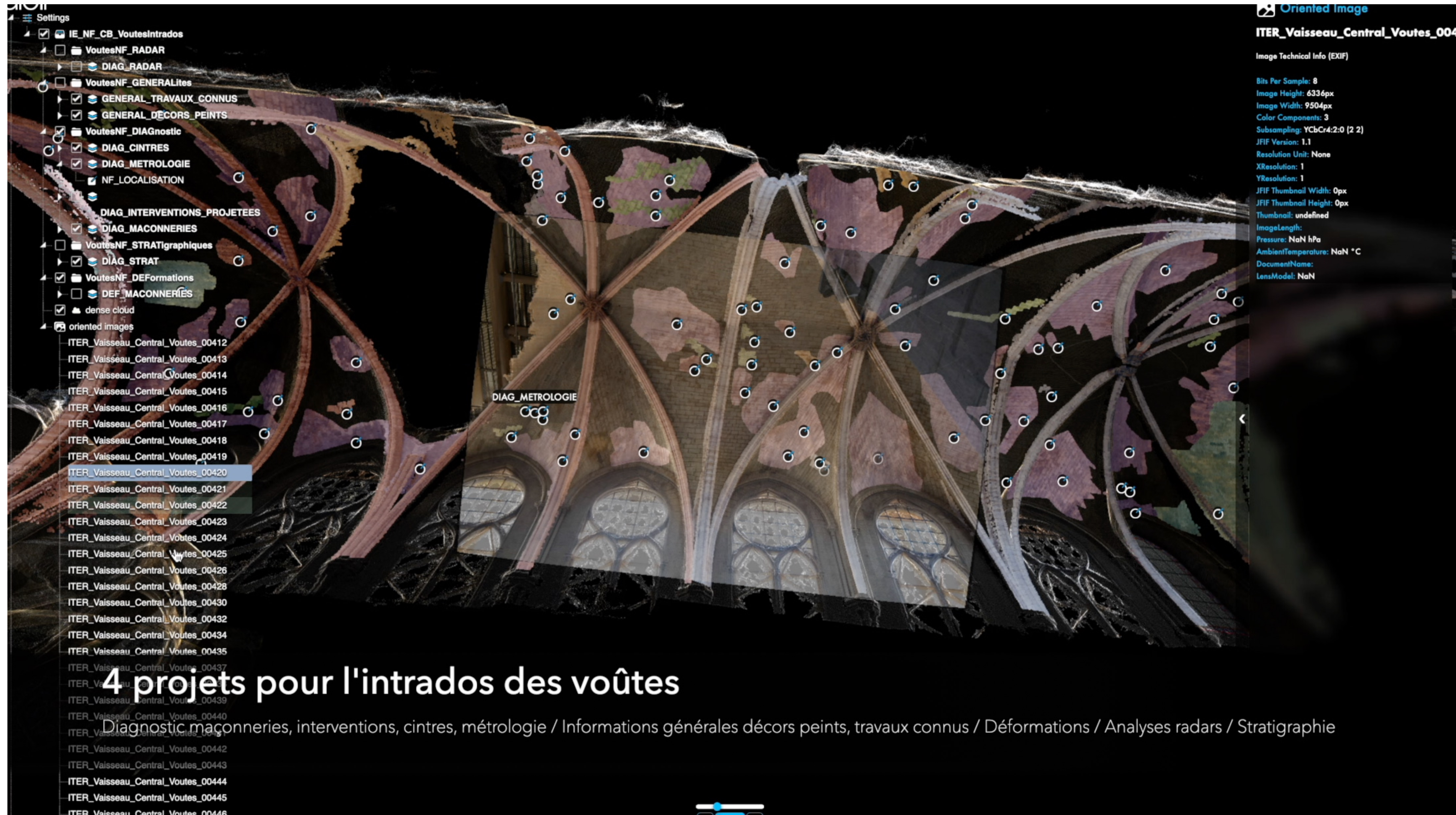
Données : Philippe Villeneuve, Rémi Fromont, Pascal Prunet  
Localisation : Chapelle 17 du choeur

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

The screenshot displays the Aïoli platform interface. On the left, a 'Settings' sidebar lists project categories and items, including 'GENERAL\_STAUAIRES\_MOBILIER', 'GENERAL\_DECORS\_PEINTS', 'GENERAL\_RESTAURATIONS\_ANT', and 'DIAG\_MACONNERIES'. The central 3D view shows a detailed model of a cathedral interior with numerous small white circles indicating annotations. On the right, a 'Project' panel provides details for 'IE\_CH\_CA00-01-02', including a description, creation and modification dates, owner (NDP), users (MOE, ValeriaC), and a 'Heritage asset' section with title, category, and description.

**32 projets pour les chapelles**  
Diagnostic maçonneries, vitraux, décors peints / Informations générales statuaire, mobilier, décors peints, restaurations antérieures

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)



## 4 projets pour l'intrados des voûtes

Diagnostic maçonneries, interventions, cintres, métrologie / Informations générales décors peints, travaux connus / Déformations / Analyses radars / Stratigraphie

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

The screenshot displays the Aïoli platform interface. On the left, a 'Settings' panel lists various data layers and tools, including 'IE\_CH\_MurBahut', 'MurBahutsCH\_CarottesPIERRES', 'DIAG\_PIERRES', 'CH\_PIERRE\_CHRP', 'CH\_TERRE\_CHn', 'MurBahutsCH\_DIAGnostic', 'DIAG\_ETAT\_EXISTANT', 'DIAG\_MACONNERIES', 'MurBahutsCH\_RADAR', 'DIAG\_RADAR', 'dense cloud', 'oriented images', and 'Tools'. The main view shows a 3D point cloud of a cathedral interior with numerous blue circular annotations overlaid on the walls. On the right, a 'Project' panel provides details for 'IE\_CH\_MurBahut', including a description, creation and modification dates, owner (NDP), users (MOE, LERM, LRMH), and heritage asset information (Title: Cathédrale Notre-Dame de Paris, Category: building, Subcategory: Bâtiment religieux, Type: Cathédrale). A small inset image shows a photograph of the cathedral interior.

## 6 projets pour l'élévation intérieure des murs bahuts

Diagnostic maçonneries, état existant / Analyses radars / Carottes pierres

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

**Annotation**

### NF33-35\_TRAVERSANTE06

**Général:** Epaisseur du mur bahut : - Nef Nord : 65cm - Nef Sud : 63cm Les travées 25 et 26 sont accessibles depuis fin novembre 2020 et sont actuellement en cours de déblaiement depuis que l'échafaudage sinistré est déposé. Présence d'une recharge béton mis en oeuvre sur l'assise supérieure des murs bahut. Présence de plomb fondu, provenant de l'habillage des couvertures, sur l'assise supérieure du mur bahut à la suite de l'incendie du 15 avril 2019. Nota : Les fonds à disposition ne permettent pas une vision complète des murs bahut depuis les extérieurs, le garde-corps cachant les trois premières assises de pierre. Etat sanitaire Joints parfois grossiers, larges, comprenant du ciment ou du plâtre ultérieurs aux travaux de restauration de Viollet-le-Duc. Assise d'arase : fracturée, perte de matière ; recharge béton ; plomb fondu à la suite de l'incendie Travaux Dépose de l'habillage plomb du chéneau recouvrant la première assise de pierre. Dépose et repose de l'assise d'arase en pierres neuves et rempli des agrafes si les capacités du métal sont assurées. Purge systématique des ragréages et joints ciment. Nota Travaux de sécurisation mis en oeuvre en 2019 : Les vestiges des pannes sablières et des gouttières ont été déposés en conservation afin de mettre en place dans les jours qui ont suivi l'incendie, les bâches et planchers de travail qui protègent aujourd'hui la cathédrale des intempéries. Le chemin de ronde de la travée 25 est encore abstrusé par les vestiges de l'incendie et les tours, encore en place, de l'échafaudage incendié. Les fonds à disposition ne permettent pas une vision complète des murs bahut depuis les extérieurs, le garde-corps cachant les trois premières assises de pierre. L'assise inférieure est inaccessible en raison de la remontée de l'habillage plomb du chéneau et n'a pas pu être analysée dans cette étude.

**Commentaire:** Pierre traversante  
**Source de l'annotation:** CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS - Etude de Diagnostic à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Pascal PRUNET, Architectes en Chef des Monuments Historiques - Décembre 2020

**12 projets pour les élévations des murs bahuts**  
Diagnostic maçonneries

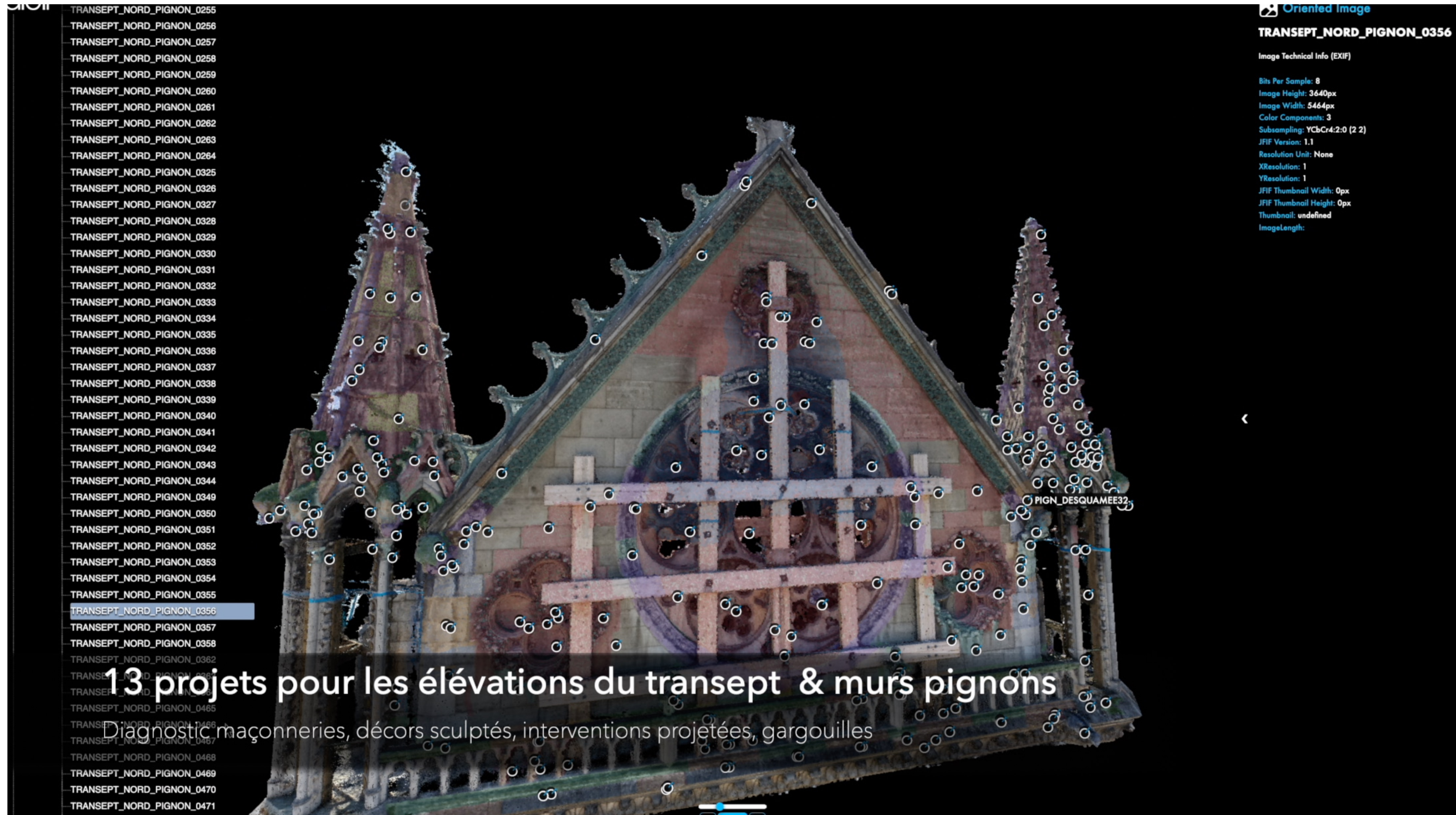
# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

**Annotation**  
**NF\_NETTOYER\_T33\_4**

Commentaire: Gargouille à nettoyer  
Source de l'annotation: CATHEDRALE NOTRE-DAME DE PARIS - Etude de Diagnostic à la suite de l'incendie du 15 avril 2019 Philippe VILLENEUVE, Rémi FROMONT, Pascal PRUNET, Architectes en Chef des Monuments Historiques - Décembre 2020

**26 projets pour les élévations des chapelles**  
Diagnostic maçonneries, décors sculptés, vitraux, gargouilles

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)



# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

**Annotation**  
**Prelevement\_10**

Numéro de coupe: Pas de numéro de coupe - lieu de stockage inconnu  
Numéro de prélèvement: Prélèvement 10  
Date de prélèvement: 1968-10-08  
Date du rapport dans lequel le prélèvement est analysé: 1968-12-10  
Numéro du rapport dans lequel le prélèvement est analysé: 18a  
Localisation (normalisée): Portail du Jugement dernier ; deuxième voussure sud ; premier voussier  
Localisation précise (champs libre): Près des pattes du cheval de la luxure  
Nature de la pierre (tablé d'après les rapports pétrographiques): /  
Support: Pierre  
Couche 1: Craie jaune  
Couche 2: Craie rouge  
Datation présumée: Polychromie ancienne  
Couche 3: Encrassement  
Couche 4: /  
Couche 5: /  
Couche 6: /  
Remarques et observations: /

Attached image

Attached image

## Collaboration avec le GT - décor

Annotation des données stratigraphiques - façade occidentale : portail du jugement dernier

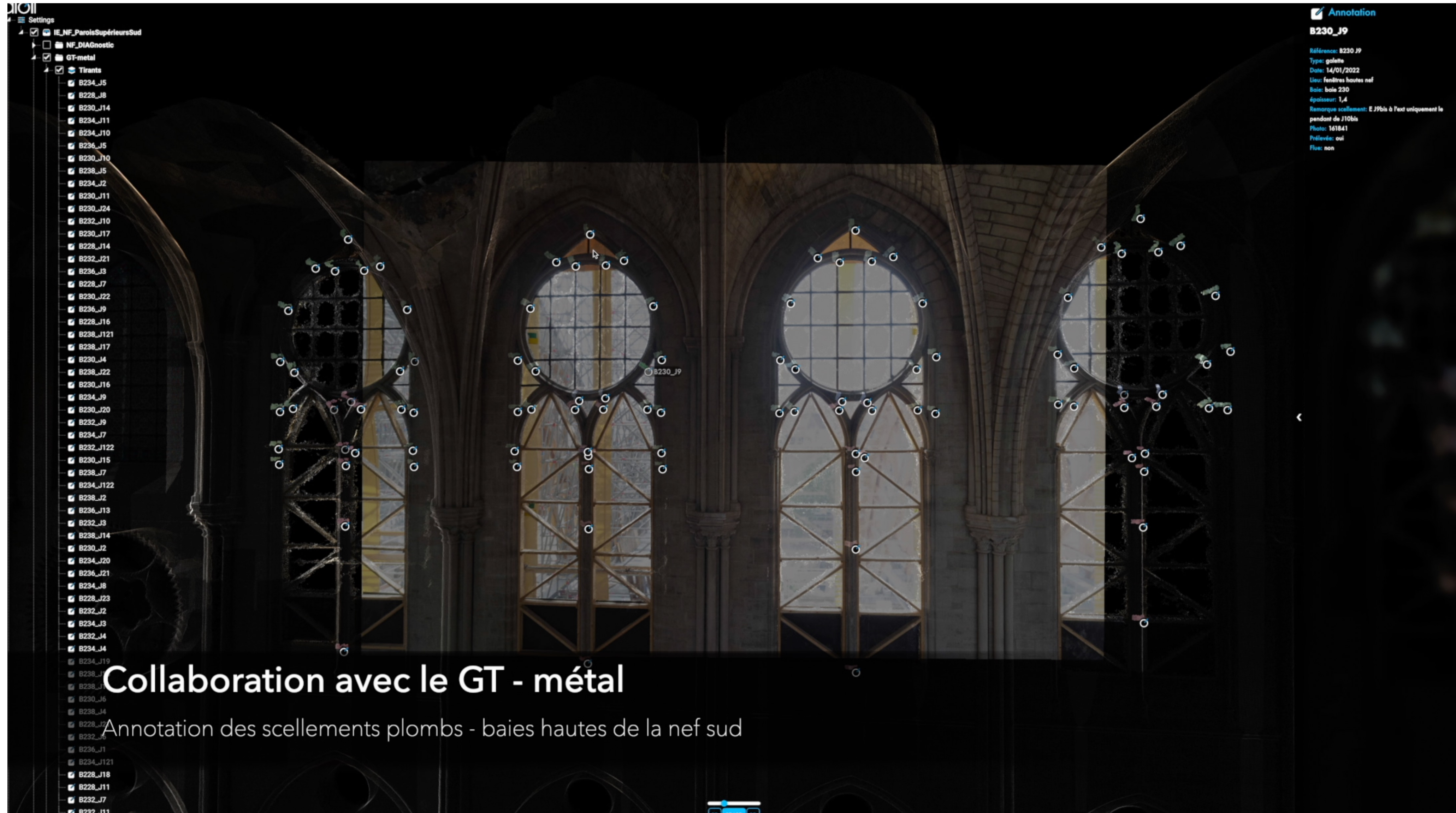


# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)

The screenshot displays the aioli platform interface. On the left, a tree view shows a project structure with folders like 'IE\_CH\_ParoisBasses' and 'SignesLapidaires', and a list of 437 annotated stone signs. The main view shows a 3D model of a cathedral choir with a green line highlighting a specific sign. An inset window shows a detailed view of a stone sign with a red and white checkered scale bar. The right panel contains an 'Annotation' window for sign 437\_102, listing its metadata: 'Numéro signe lapidaire: 437', 'Numéro symbole: 102', 'Nom symbole: rosace quadruple', 'Nom élément architecture: C22-CH', 'Localisation: Choeur', 'Orientation/Début: Entre colonnette 4 et 5', 'Assise: 15', 'Photo: 118489', and 'Intérieur/Extérieur: Intérieur'. Below the main view, a browser window shows a blank page with the URL 'b225930322769806'.

**Collaboration avec le GT - émotion**  
Annotation des signes lapidaires - piles du choeur

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)



## Collaboration avec le GT - métal

Annotation des scelllements plombs - baies hautes de la nef sud

# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)



# Démonstration de projets annotés (constat d'état et collaborations avec le chantier scientifique)



# Enjeux et perspectives

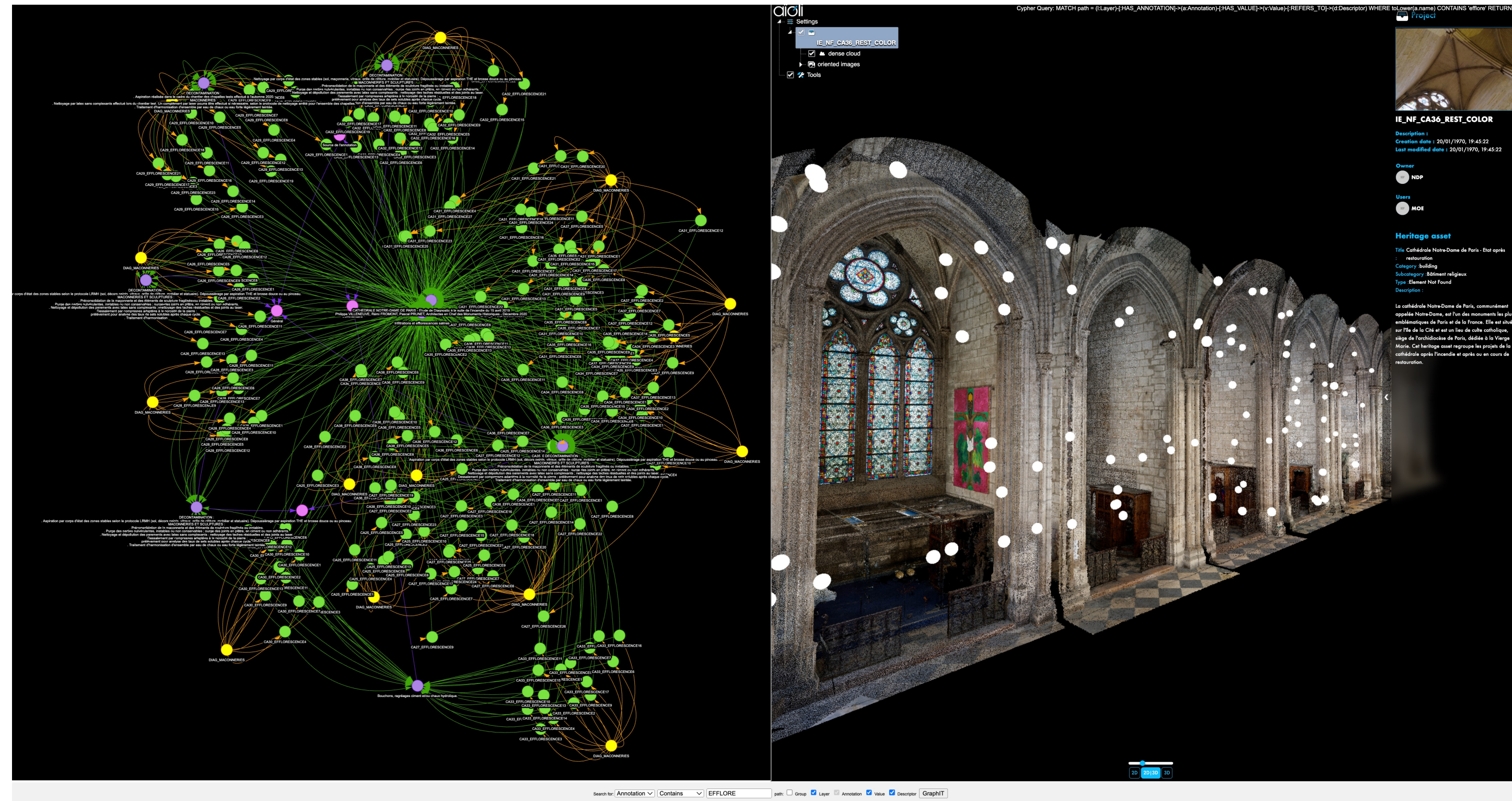
Dans quel but ?

- Conservation et centralisation des données : offrir un environnement pérenne aux données, réunir et articuler des données souvent distinctes
- Rendre les données interrogeables : construction de requêtes simples et complexes
- Production de données, servant de points de départ à d'autres travaux (modèles de fondation pour l'annotation, la segmentation et la reconnaissance de formes ; caractérisation de relations de proximité temporelle, spatiale et sémantique pour l'exploration d'un corpus d'images photographiques ; intégration et localisation automatique de nouvelles images au sein de collections d'images structurées par contenu visuel...)

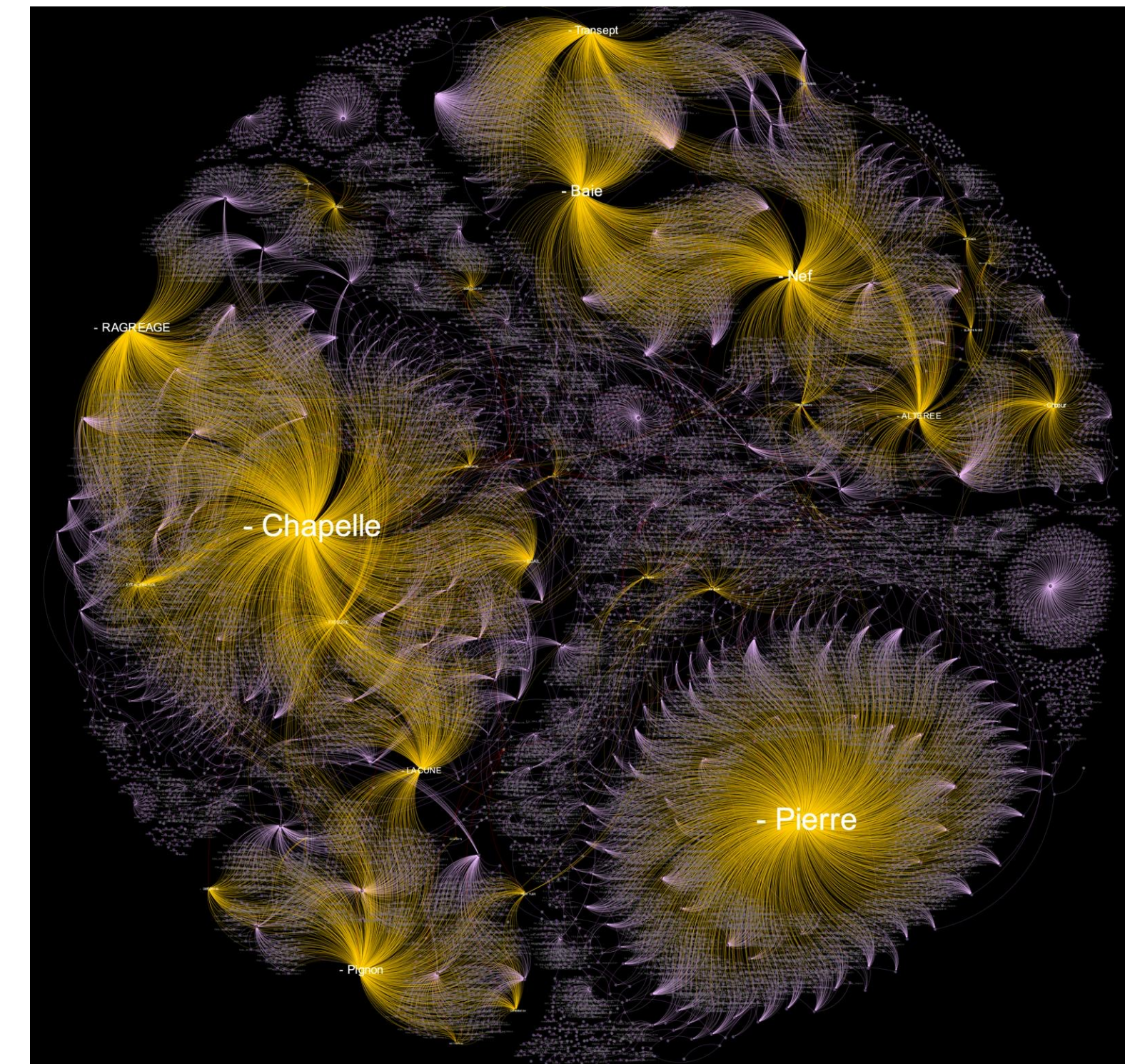


En suivant ce lien, vous pouvez télécharger la publication d'origine :

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



Visualisation intégrée d'un jeu d'annotations spatialisées de l'état de conservation des chapelles et du graphe des relations sémantiques associés



Graphe des termes employés dans les nomenclatures des projets aioli