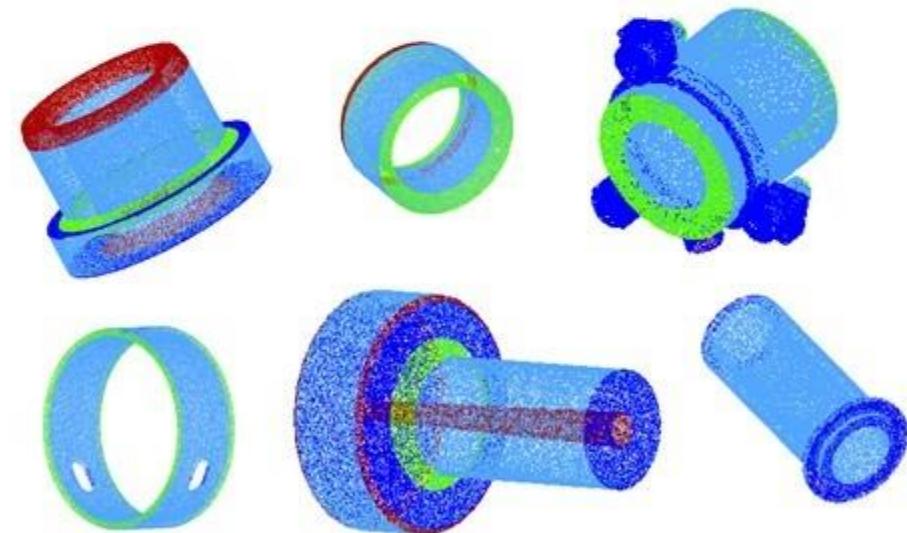


IA POUR L'INTERPRETATION DE DONNEES 3D DANS LE PATRIMOINE ET L'INDUSTRIE

Valeria Croce

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSA), Aix-en-Provence
valeria.croce@ensam.eu

6 juin 2024, Webinaire « Autour de la 3D »
GDR CNRS MAGIS et GDR CNRS IG-RV

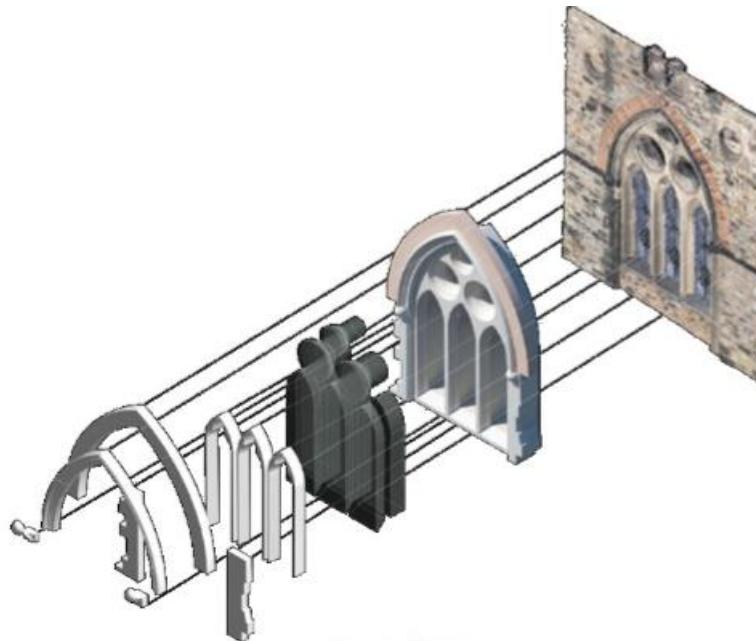


OBJECTIFS



Étudier l'application de l'Intelligence Artificielle (**apprentissage automatique et apprentissage profond**), afin d'améliorer :

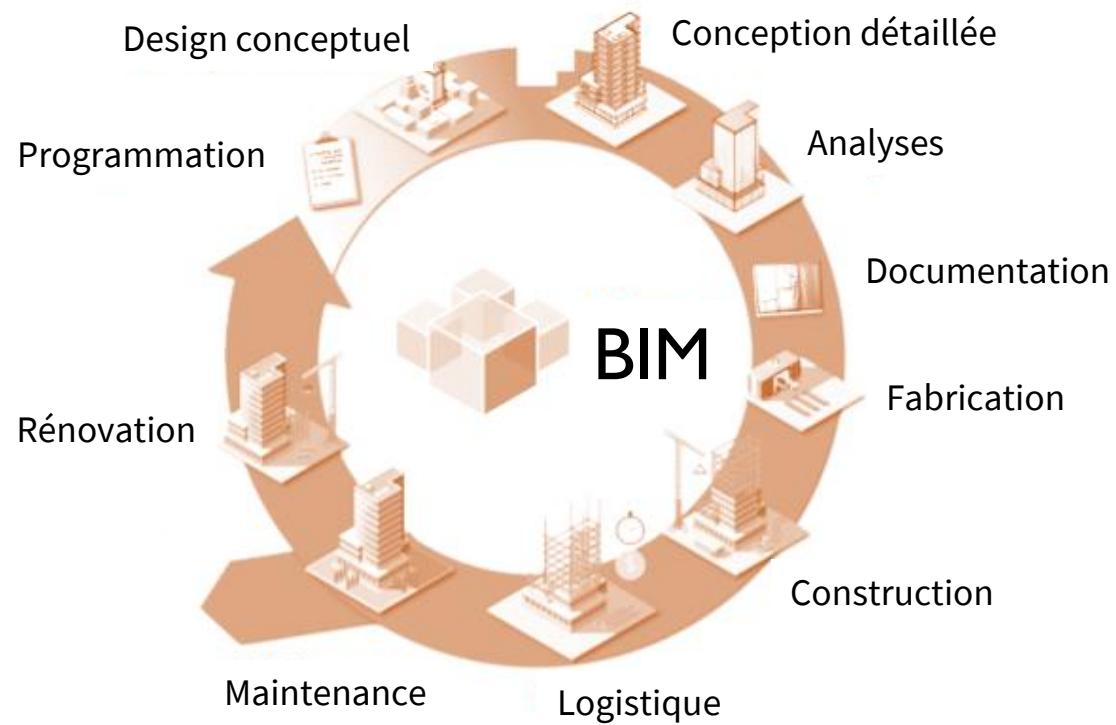
- **L'interprétation et l'organisation des données 3D** issues de relevé
- L'interprétation d'une énorme **pluralité de données** non connectées et difficilement utilisables.
- En vue de la **génération de systèmes BIM** pour le patrimoine culturel (Heritage- ou Historic- Building Information Modeling).



(Murphy et al., 2009)

MODÉLISATION DES INFORMATIONS (OU DONNÉES) DU BÂTIMENT

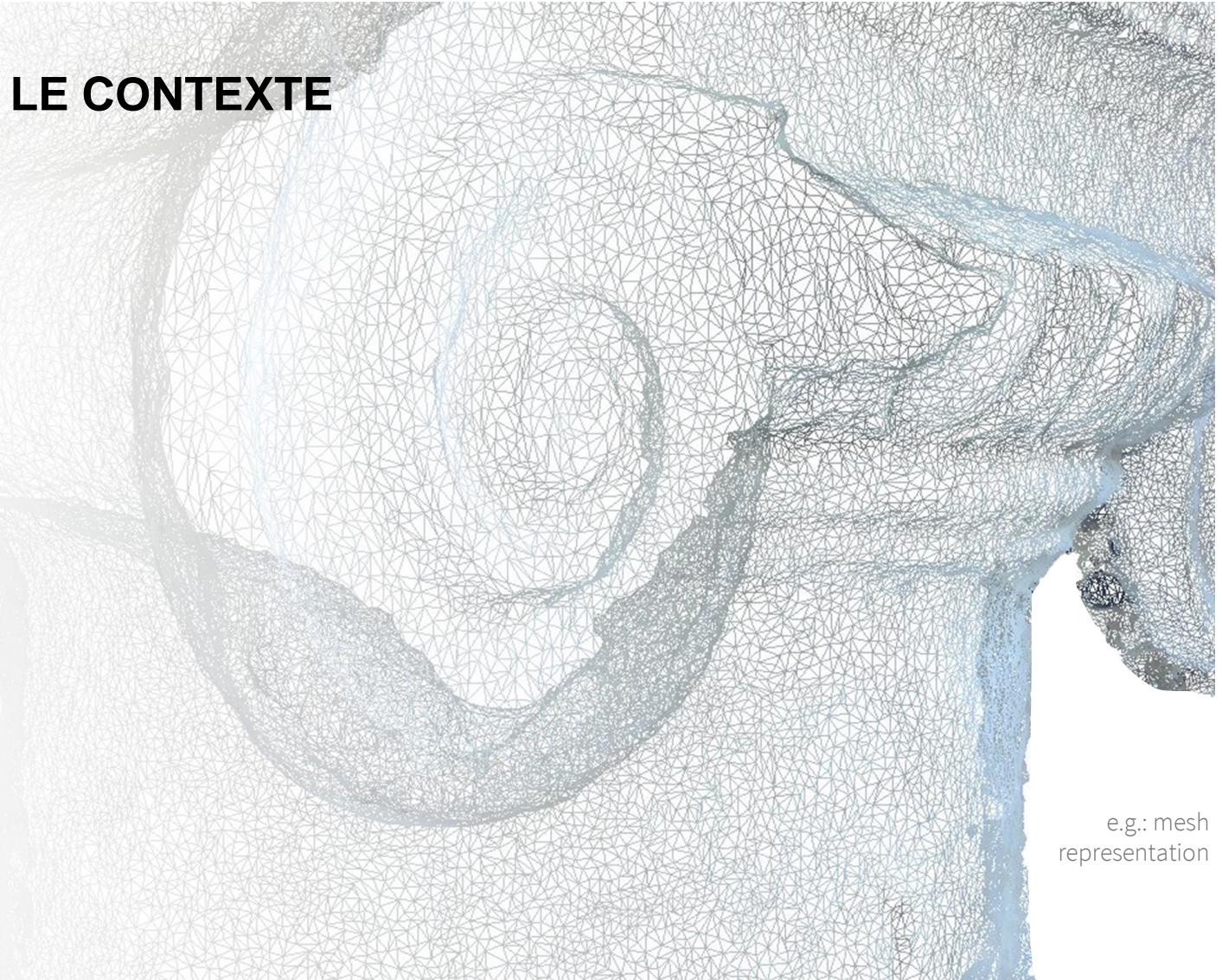
Des plates-formes créées à l'origine pour être appliquées aux nouvelles constructions...



Source: Euroblock

LE CONTEXTE

- Multiples méthodes de représentation existantes pour un même objet ou site du patrimoine architectural



e.g.: mesh representation

- **Continuum numérique** : traçabilité des données, archivage, récupération, quel que soit le type de représentation numérique choisi
- Syntaxe commune et **méthode plus objective** pour le stockage et l'organisation des données



Dense point cloud



Sparse point cloud



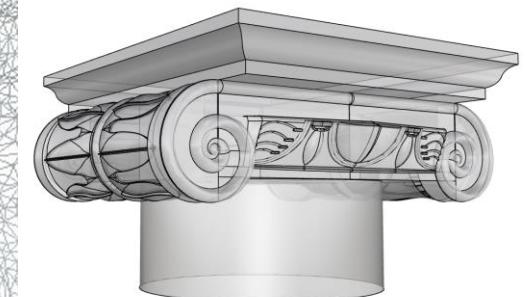
Mesh model



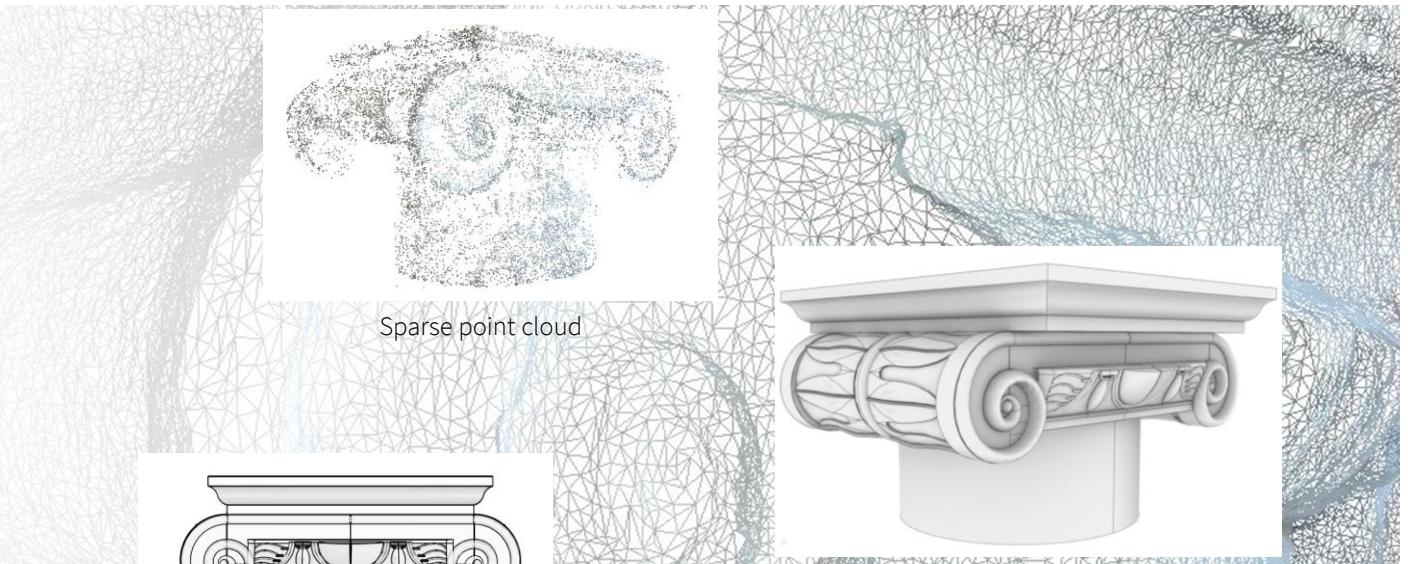
2D CAD



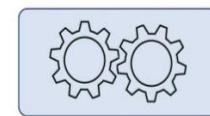
Image



Parametric model



LE PROCESSUS



Scanner laser, photogrammétrie ou combinaison des deux

NUAGE DE POINTS 3D ENREGISTRÉ

Traitements des données

Modélisation dans un environnement numérique et saisie d'informations sémantiques

Segmentation + Classification

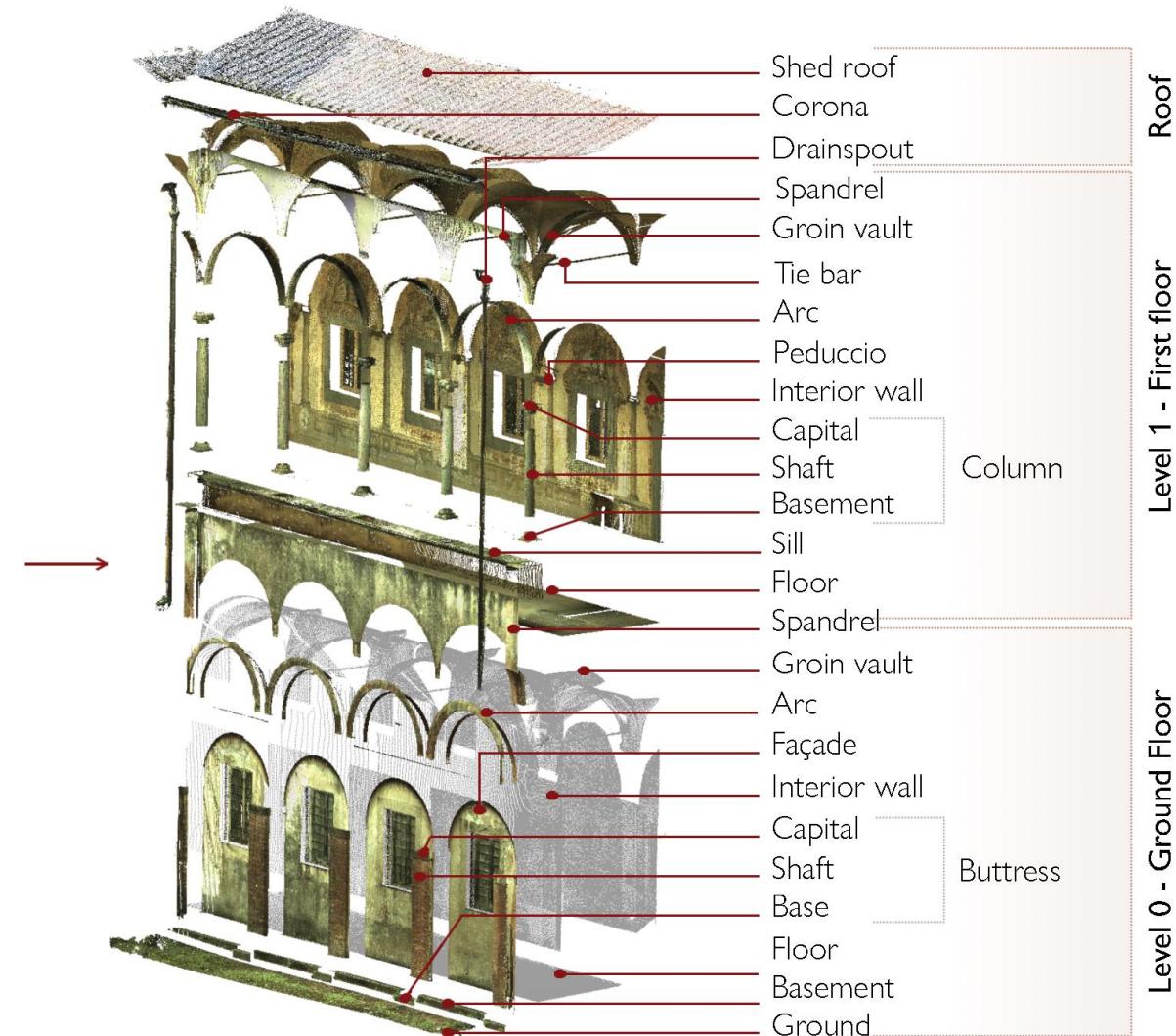
basées sur l'identification d'éléments typologiques récurrents à partir des données initiales issues de relevé

RECONSTRUCTION SCAN-TO-BIM ÉTAT DE L'ART

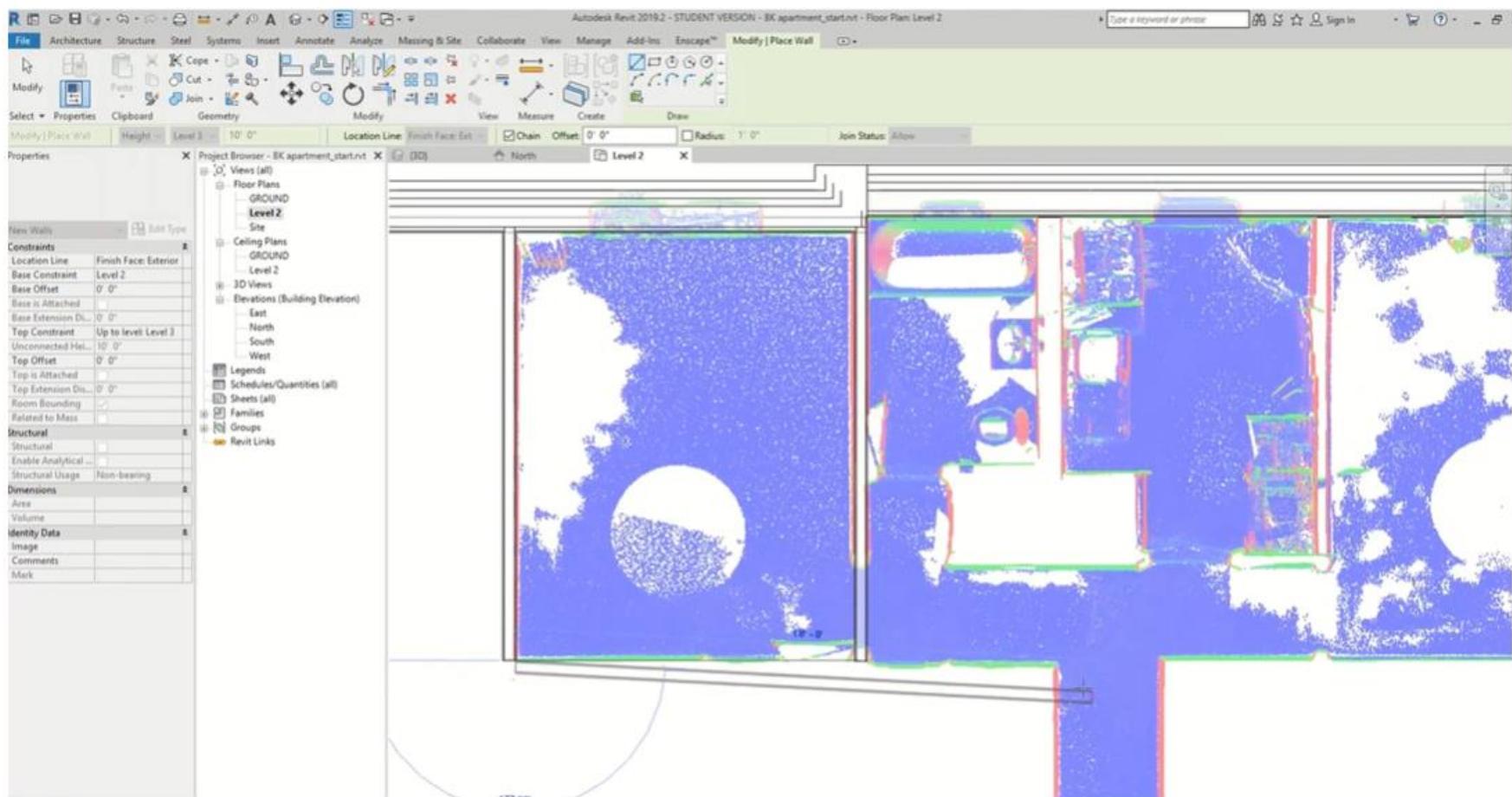
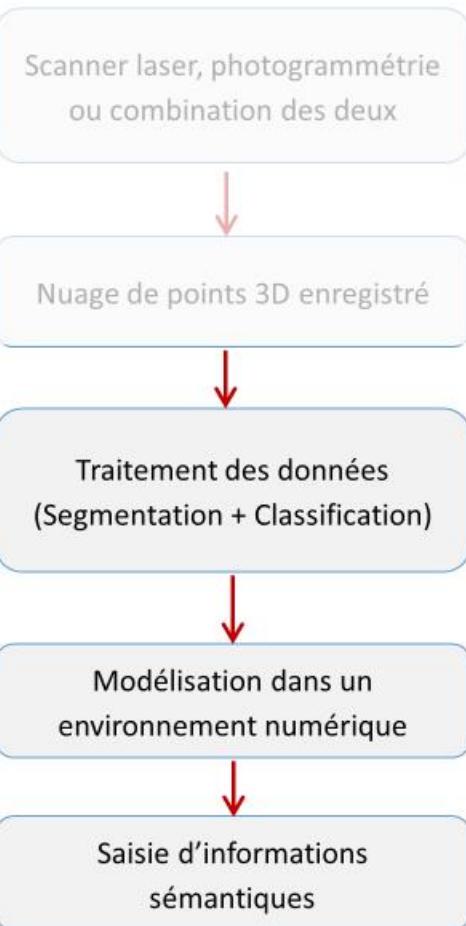
Degré d'automatisation du processus ?



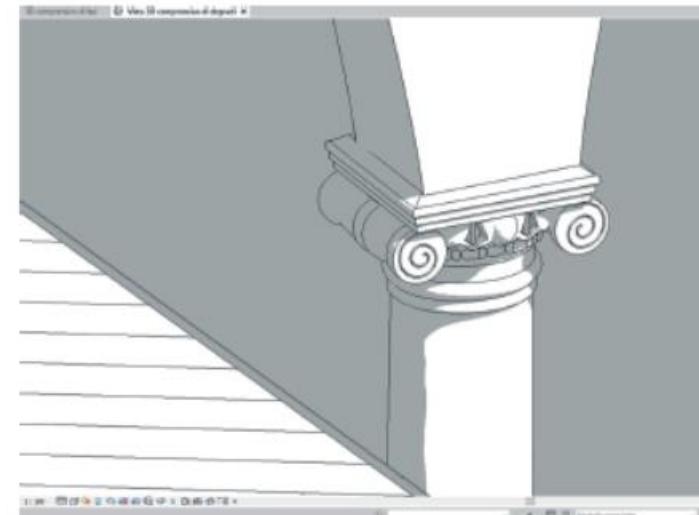
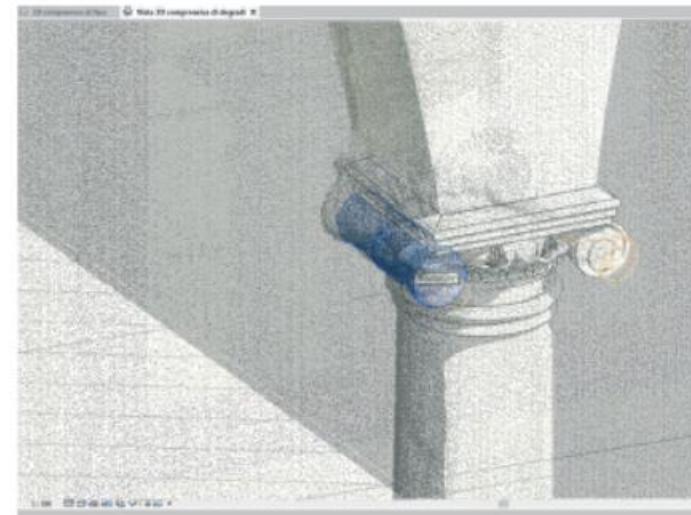
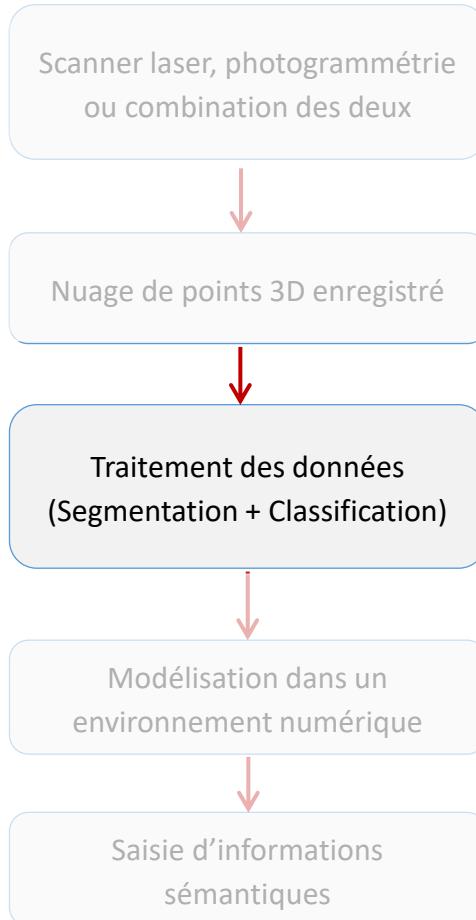
3D point cloud



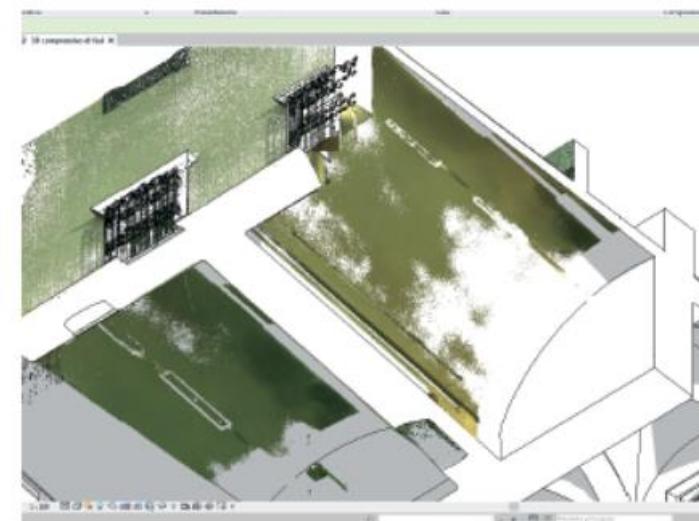
ÉTAT DE L'ART: UNE APPROCHE NON-AUTOMATISÉE



ÉTAT DE L'ART: UNE APPROCHE NON-AUTOMATISÉE

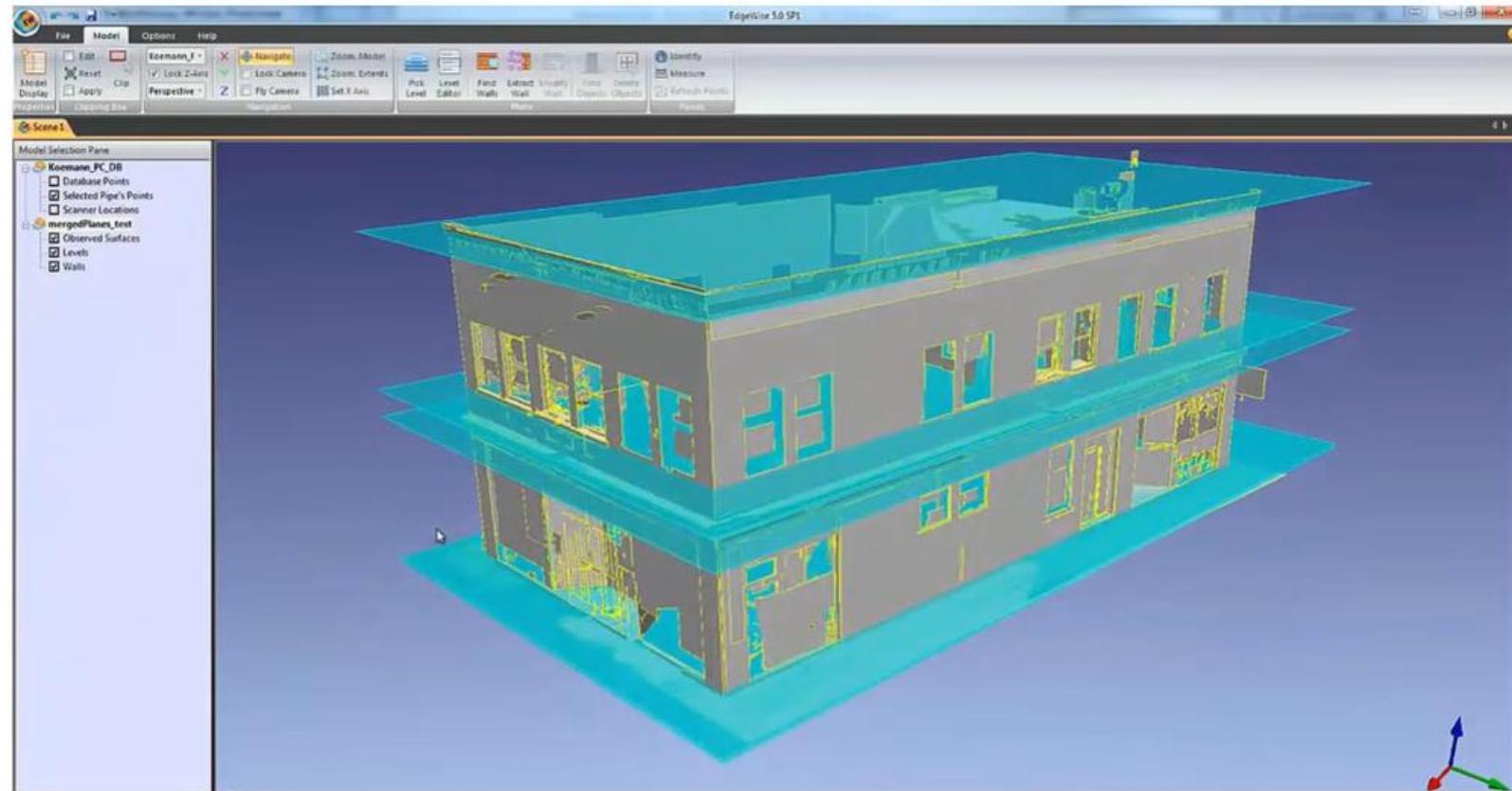
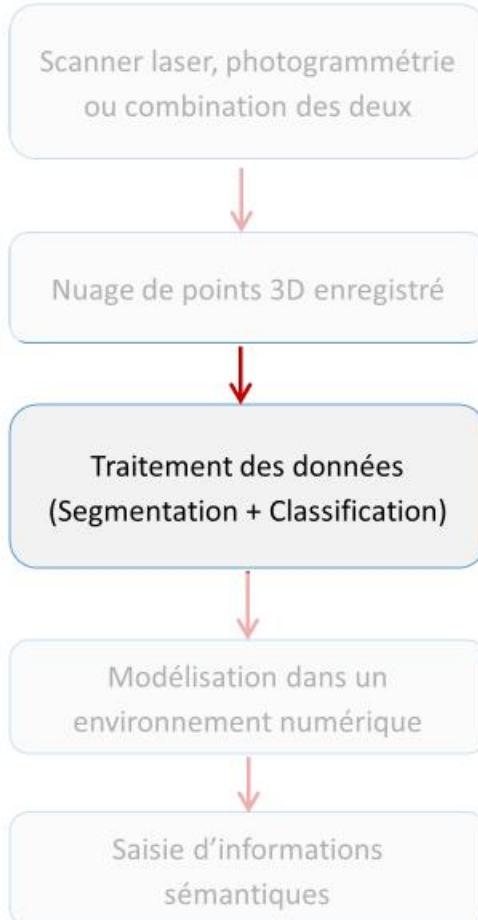


Chapiteau



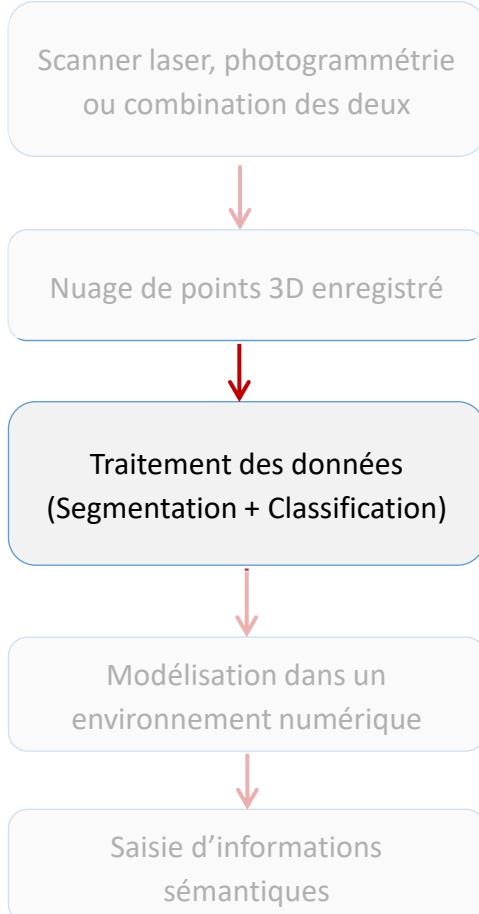
Voûte en berceau

ÉTAT DE L'ART: OUTILS SEMI-AUTOMATIQUES



Scan-to-BIM pour REVIT Autodesk (<https://scantobim.xyz>)
Tuyaux, conduits, parois de dimensions standard

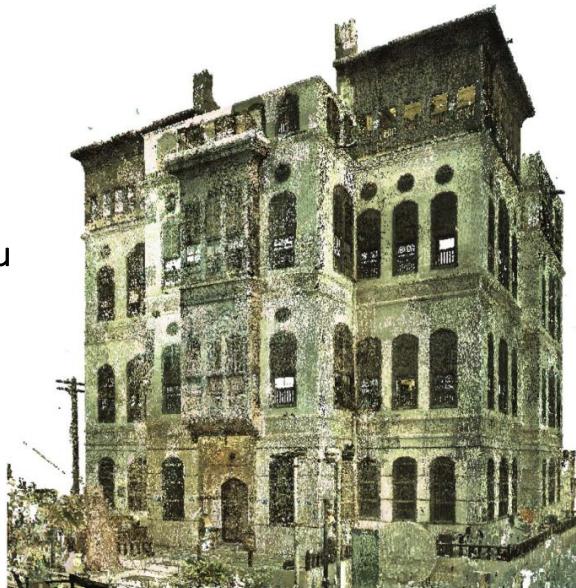
ÉTAT DE L'ART: UNE APPROCHE NON-AUTOMATISÉE



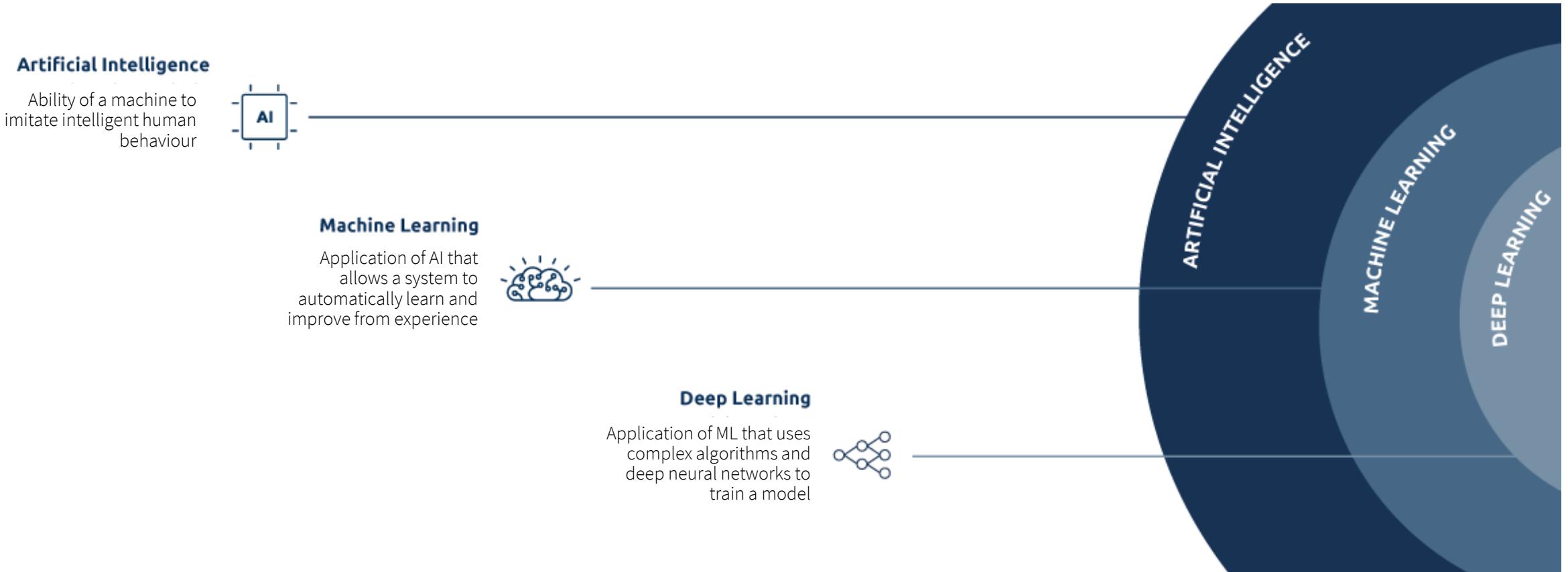
- Processus long et chronophage
- Évaluation subjective : résultat différent selon l'opérateur ou le niveau de détail (niveau de détail ou niveau de développement) choisi.

(Baik et al., 2017)

Est-il possible d'automatiser cette étape du processus?
Applications de l'Intelligence Artificielle dans cette phase du processus Scan-to-BIM



MÉTHODES AUTOMATIQUES BASÉES SUR L'IA



- L'apprentissage automatique **apprend aux ordinateurs et aux robots à effectuer des actions et des activités aussi naturellement que les humains ou les animaux**, en apprenant par l'expérience (ou plutôt par des programmes d'apprentissage automatique).
- Les algorithmes d'apprentissage automatique utilisent des **méthodes mathématiques et statistiques** pour apprendre des informations directement à partir de données, sans modèles mathématiques ni équations prédéterminées.

Classification et localisation



CAT

Single object

Object detection



DOG, DOG, CAT

More than one object

Instance Segmentation

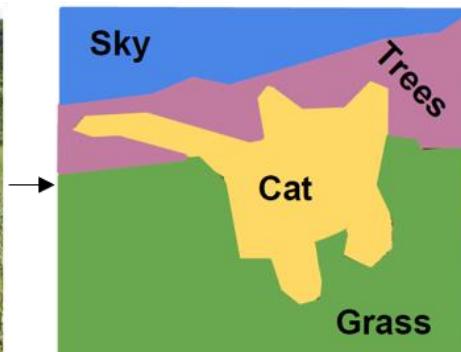


DOG, DOG, CAT

Segmentation sémantique



GRASS, CAT,
TREE, SKY

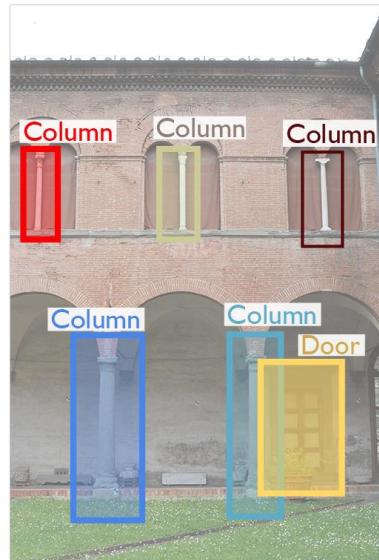


- Chaque pixel de l'image est associé à une catégorie (étiquette ou label).
- Les pixels individuels sont différenciés (pas les instances)

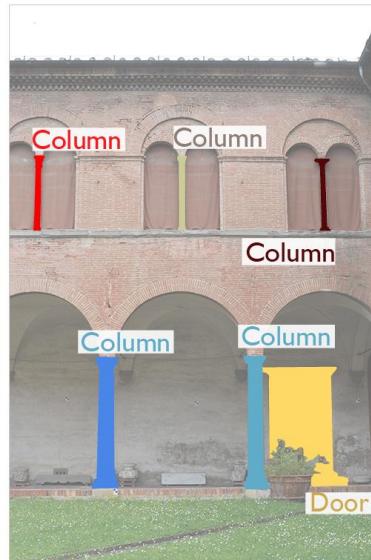
Classification
+ Localization



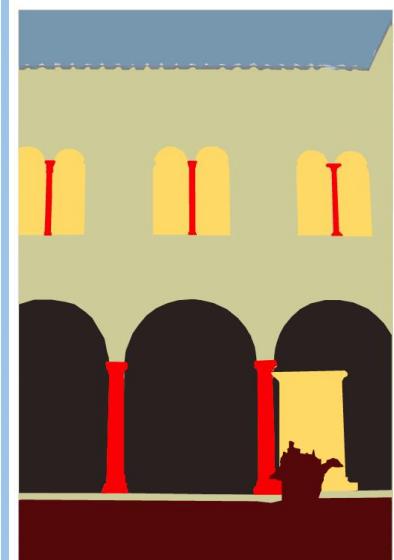
Object
Detection



Instance
Segmentation



Semantic
Segmentation



▀ Cloister façade

▀ Column 1
▀ Column 2
▀ Column 3...
▀ Door

▀ Column 1
▀ Column 2
▀ Column 3...
▀ Door

▀ Wall ▀ Opening
▀ Column ▀ Vegetation
▀ Sky... ▀

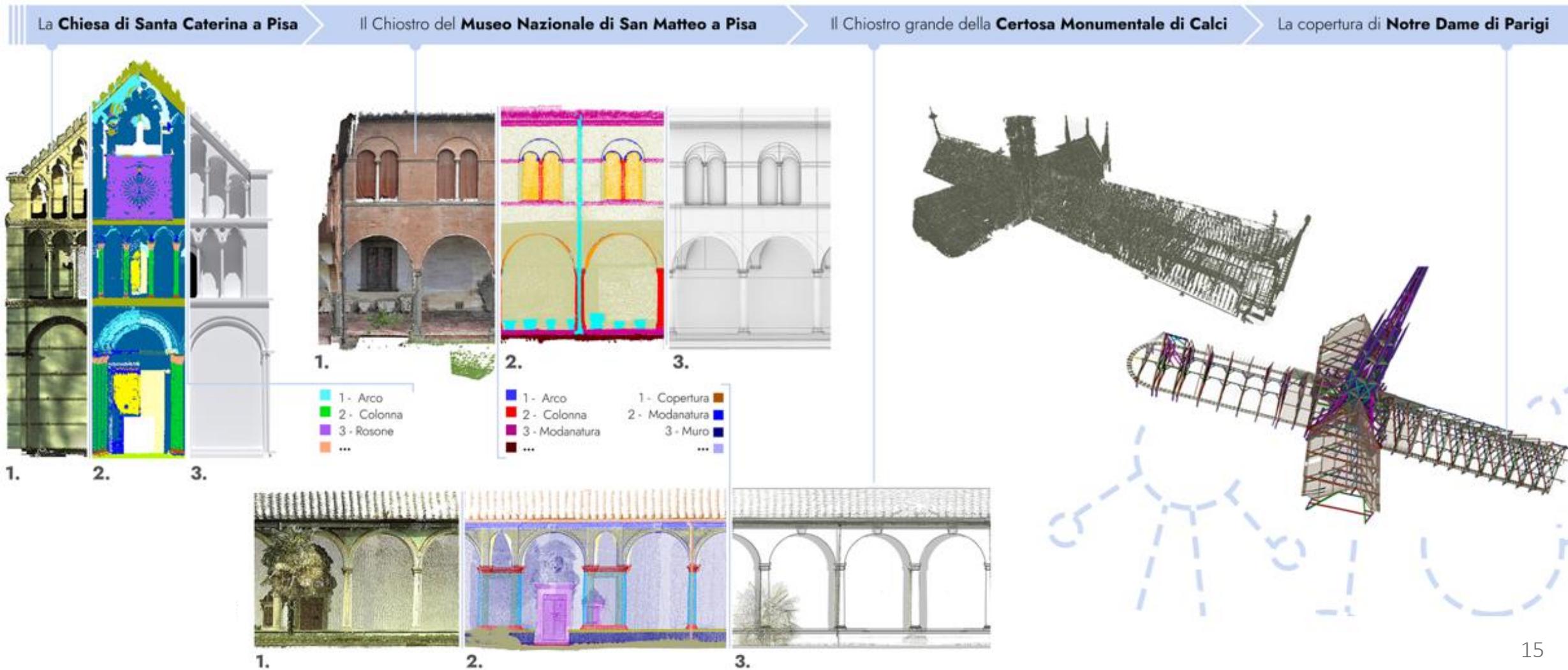
Single object

Multiple objects

No objects,
just pixels or 3D points

Une approche méthodologique intégrée pour le transfert et l'échange d'annotations sémantiques de modèles de patrimoine numérique 2D/3D, reposant sur:

- la reconnaissance et la classification des éléments et des caractéristiques architecturales pertinents et récurrents ;
- la propagation d'informations sémantiques entre différents types de modèles numériques.



APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE APPLIQUÉ AU PATRIMOINE

2D



e.g.: Notre-Dame Cathedral, Paris

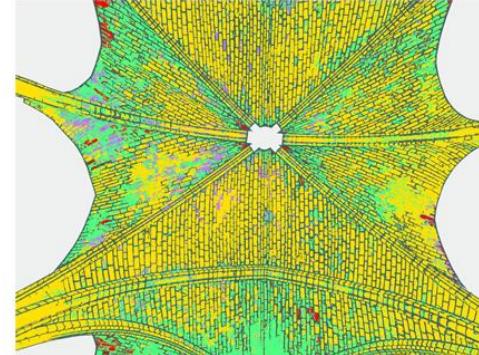
3D



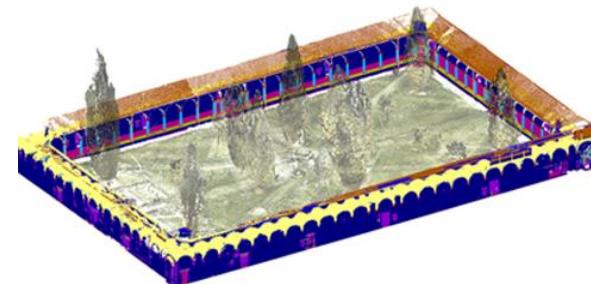
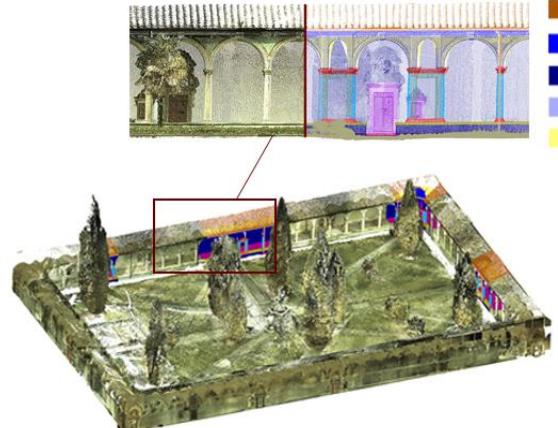
e.g.: Pisa Charterhouse



Phase d'entraînement (training)



Interprétation et Segmentation sémantique de données 2D/3D



APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE APPLIQUÉ AU PATRIMOINE

Extraction et sélection des caractéristiques

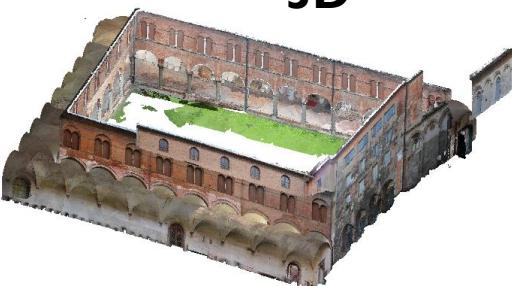


2D

e.g.: Notre-Dame
Cathedral, Paris

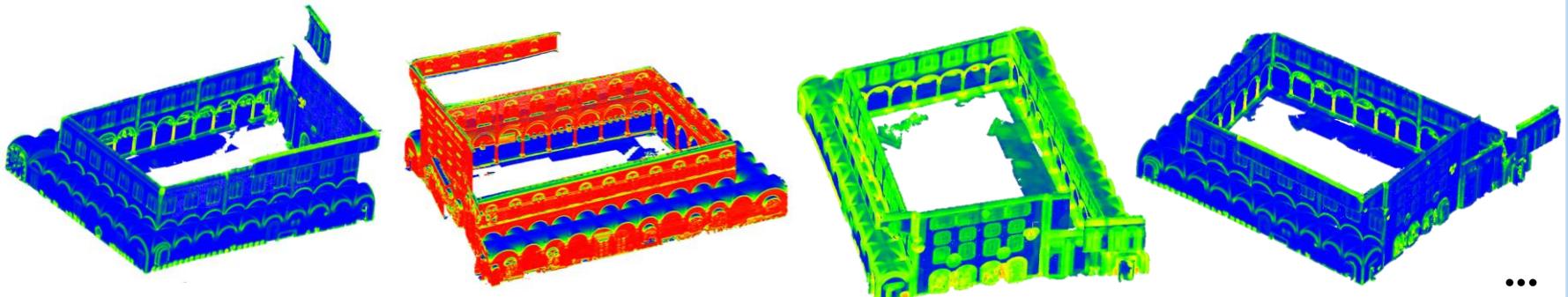


Une série d'images - une image pour chaque caractéristique



3D

e.g.: San Matteo cloister, Pisa



Un champ scalaire affichant des propriétés géométriques et colorimétriques - une par caractéristique

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE APPLIQUÉ AU PATRIMOINE

Evaluations de performance

- Matrice de confusion
Comparaison des valeurs réelles et des valeurs prédites par le classificateur (vrais positifs, vrais négatifs, faux positifs, faux négatifs)
- Validation sur les 25 % de données non vues

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$F - measure = 2 \cdot \frac{Recall \cdot Precision}{Recall + Precision}$$

2D : En termes de pixels

3D : En termes de nombre de points

		TRUE CLASS				
		not X	X	not X		
PREDICTED CLASS	not X	6763	42	0	0	0
	X	27	6483	4	0	0
not X	not X	0	4	99612	18	103
	X	0	0	8	4273	94
X	not X	0	0	183	95	TN
	X	0	0	136	8	FP
not X	not X	0	0	0	0	0
	X	0	0	0	0	TN
X	not X	0	0	3	0	0
	X	0	0	26	0	FN
not X	not X	0	0	37	0	TP
	X	0	0	25	0	FN
X	not X	0	0	70	0	0
	X	0	0	17	0	TN
not X	not X	0	0	96	0	FP
	X	0	0	0	0	TN
X	not X	0	0	12	0	0
	X	0	0	0	0	0
not X	not X	0	0	0	0	0
	X	0	0	0	0	0

RÉSULTATS: ANNOTATIONS DE DONNÉES DE TRAINING EN 2D

- L'ensemble d'entraînement est spécifié à chaque fois, et les classes sont identifiées au cas par cas (composants architecturaux, matériaux, niveaux de dégradation).
- Différents supports 2D possibles:
Photos, ortho-images, Cartographie UV



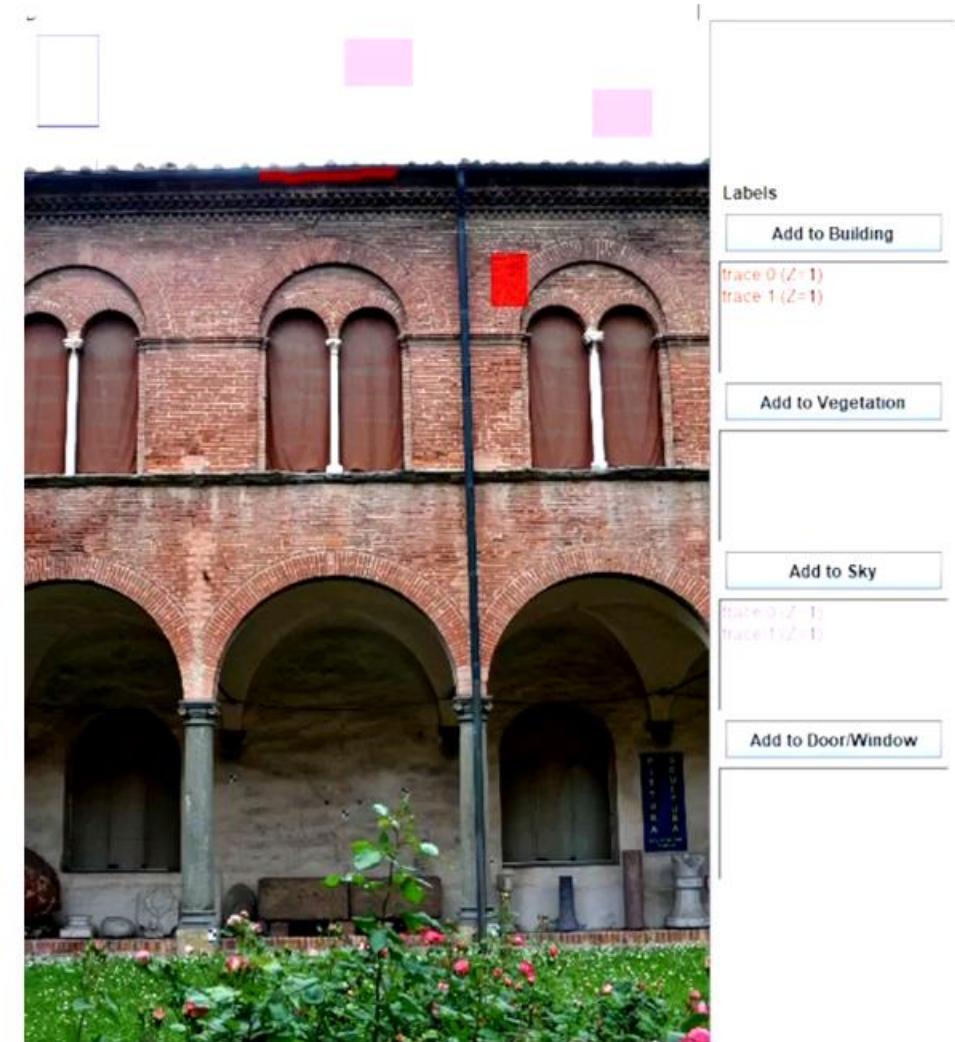
Photos



Ortho-images



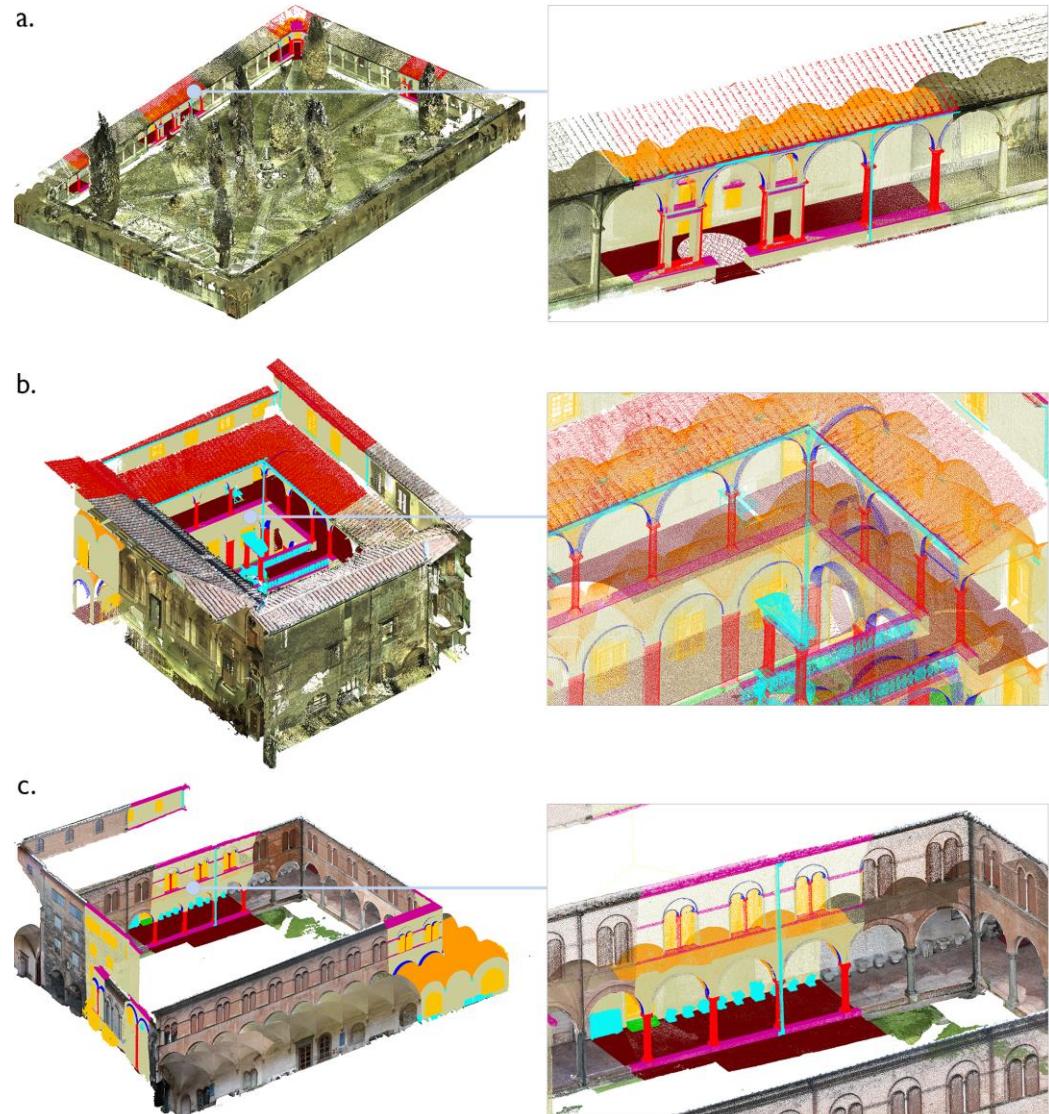
Cartographie UV



RÉSULTATS: ANNOTATIONS DE DONNÉES DE TRAINING EN 3D

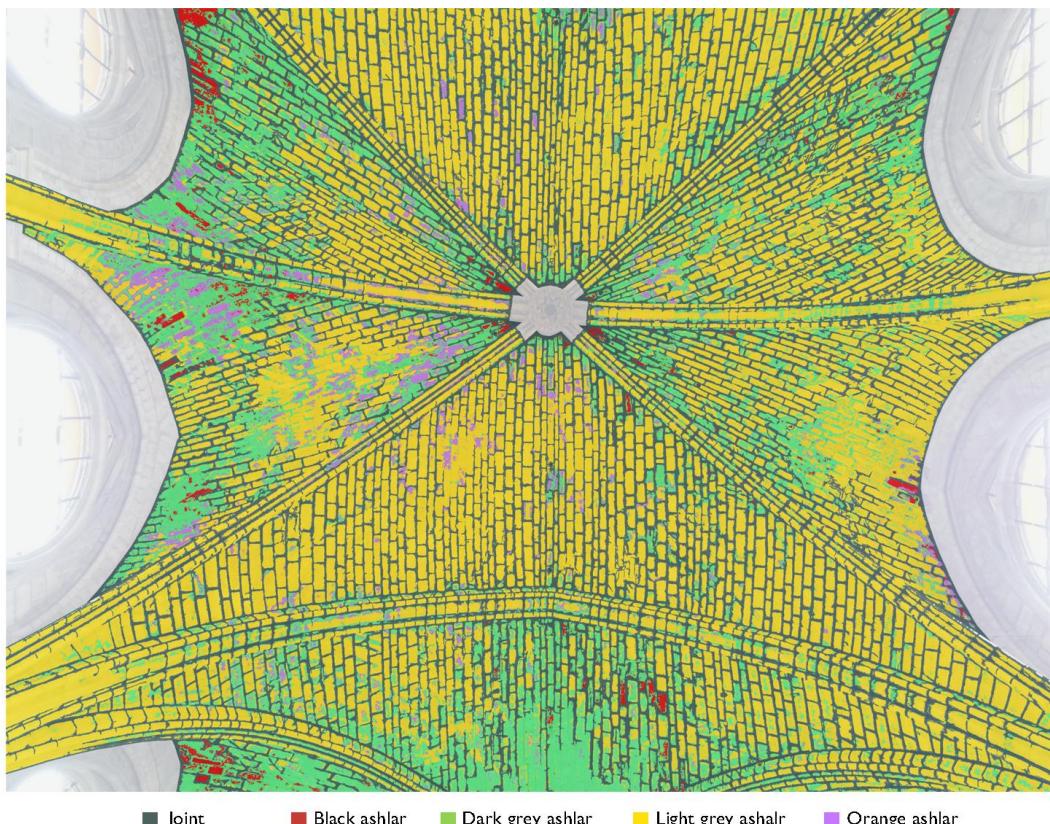
- L'ensemble d'entraînement est spécifié à chaque fois, et les classes sont identifiées au cas par cas (composants architecturaux, matériaux, niveaux de dégradation).
- Différents supports 3D: mailles 3D ou nuages de points.

■ 0 - Arch	■ 1 - Column	■ 2 - Moldings	■ 3 - Floor	■ 4 - Door/Window	■ 5 - Wall
■ 6 - Stair	■ 7 - Vault	■ 8 - Roof	■ 9 - Other		



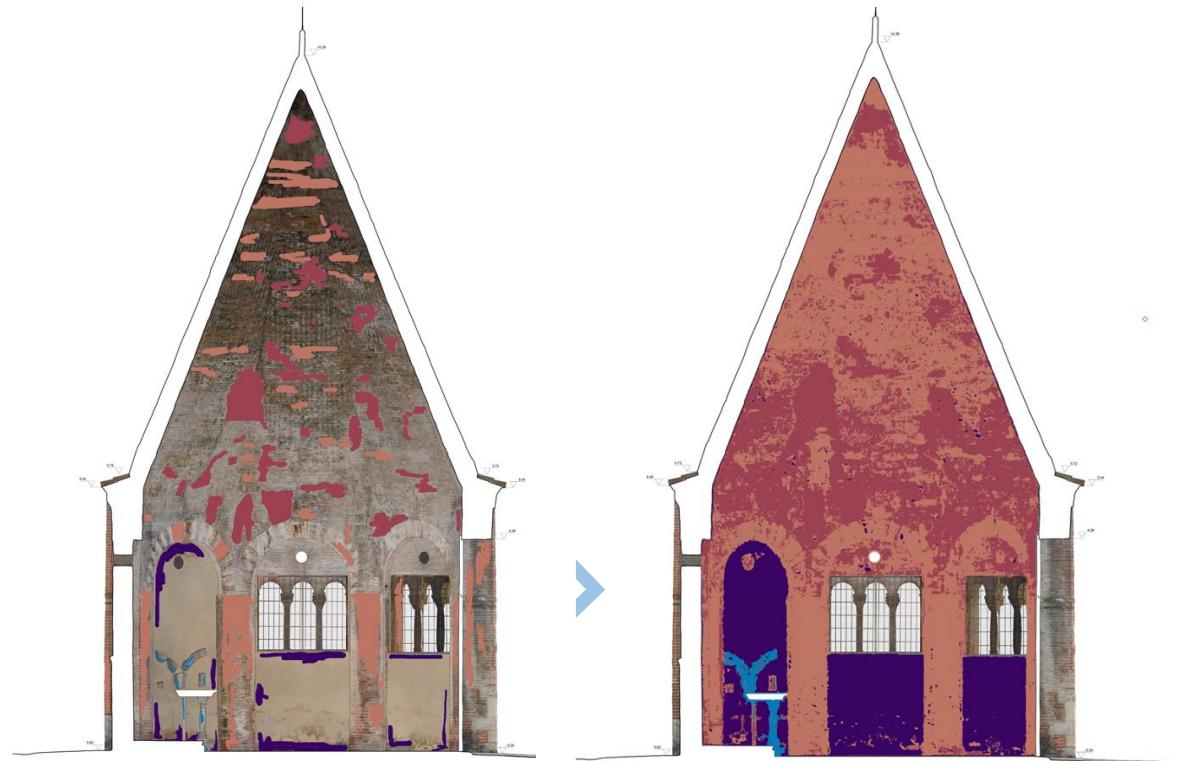
RÉSULTATS: ANNOTATIONS DU JEU DE DONNÉES EN 3D

2D



e.g.: vaults of Notre-Dame Cathedral in Paris

- 0 - Brick masonry with traces of wall painting
- 1 - Chromatic alteration of brick masonry
- 2 - Plaster
- 3 - Marble



e.g.: St. Agata Chapel in Pisa

RÉSULTATS: ANNOTATIONS DU JEU DE DONNÉES EN 3D

3D



- 0 - Arch
- 1 - Column
- 2 - Moldings
- 3 - Floor
- 4 - Door/Window
- 5 - Wall
- 6 - Stair
- 7 - Vault
- 8 - Roof
- 9 - Other

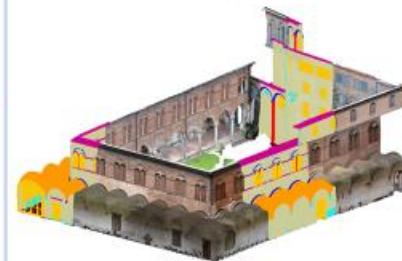
Main cloister,
Pisa Charterhouse



Grand-Ducal cloister,
Pisa Charterhouse



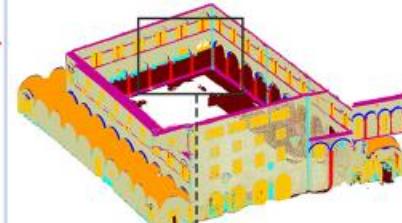
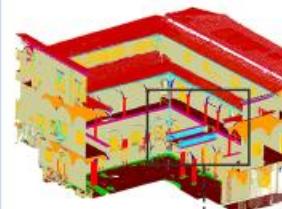
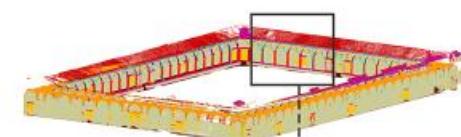
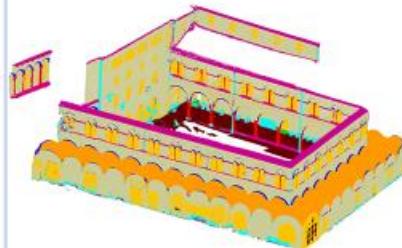
Cloister of the
National Museum of San Matteo, Pisa



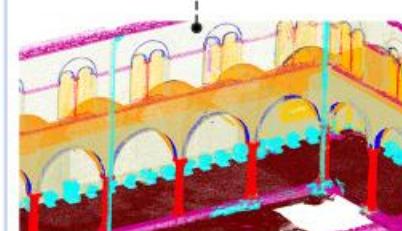
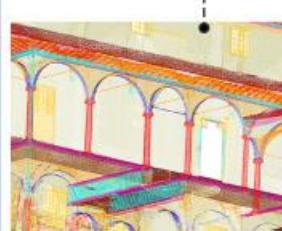
a)



b)

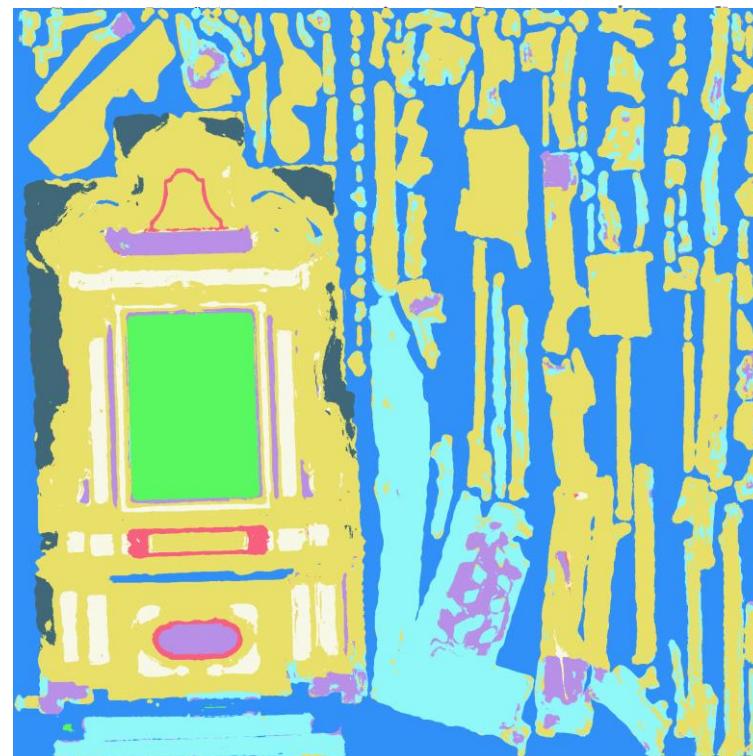
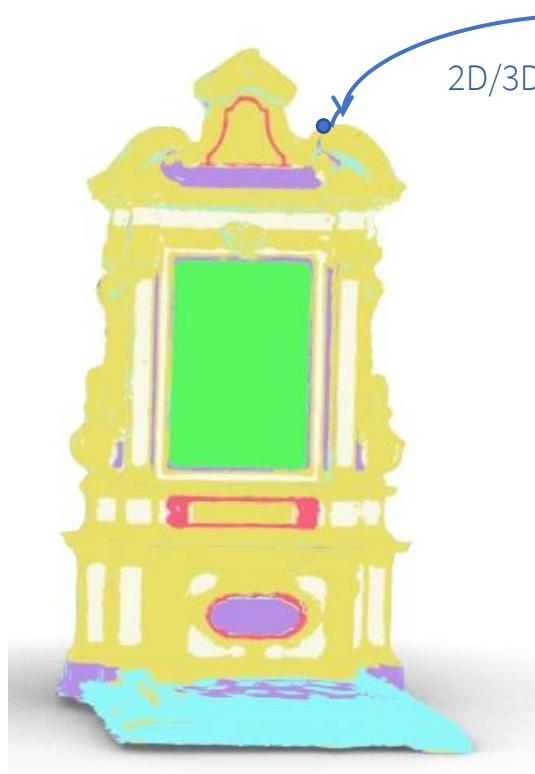


c)

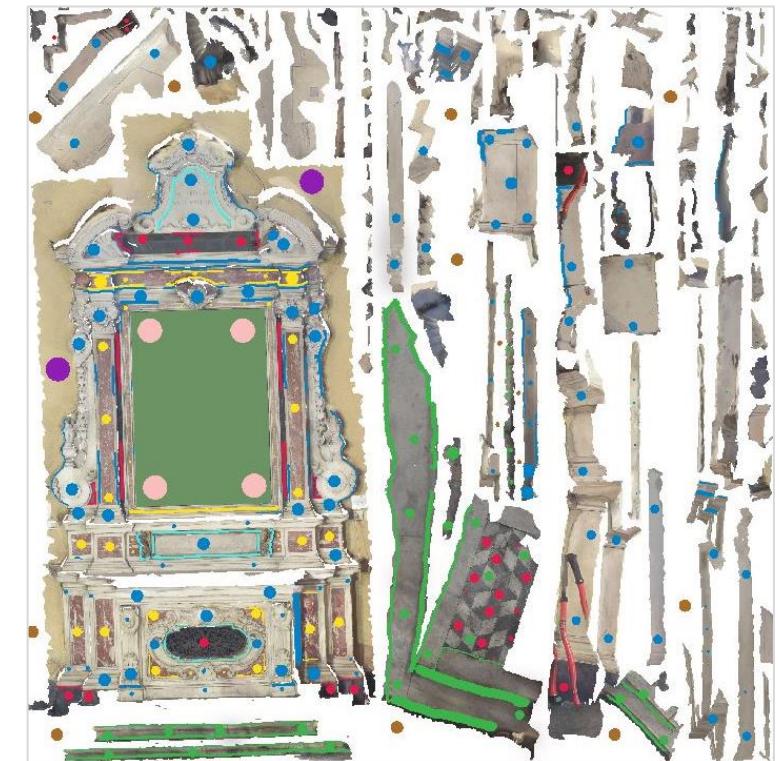


PROPAGATION DES ANNOTATIONS 2D/3D: DES CARTOGRAPHIES UV AUX MAILLAGES 3D

- Carte UV issue d'un modèle de maillage utilisé pour la classification 2D et la projection ultérieure des informations sur le maillage 3D



- Segmentation sémantique 2D



- UV map – Entraînement

(e.g.: Chiesa del Carmine, Pisa, altars)

PROPAGATION DES ANNOTATIONS 2D/3D: DES IMAGES AUX NUAGES DE POINTS 3D

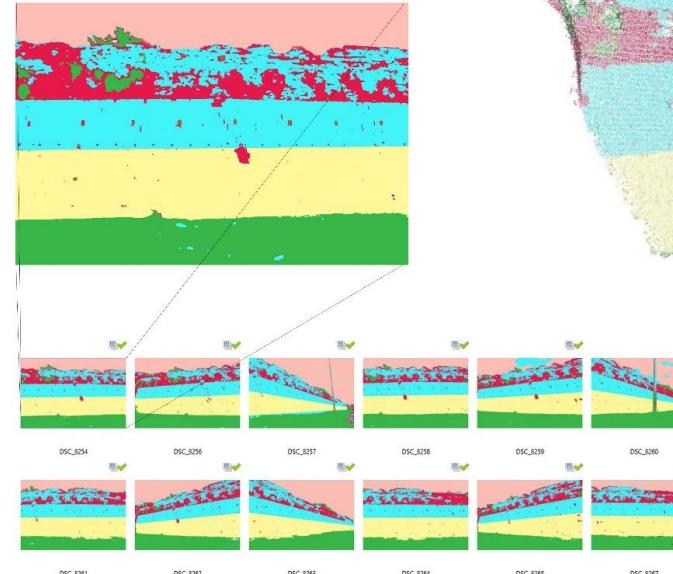
- Exploiting the principles of **photogrammetry** to transfer a semantic segmentation
- From a **2D segmented image** to the **3D model**.

(e.g.: **Urban walls, Pisa**)

- Point cloud from photogrammetry



- 2D segmentation



■ Breccia di Asciano

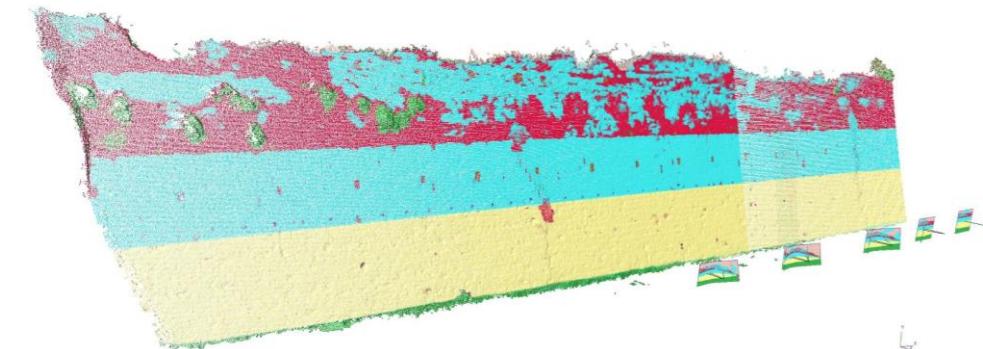
■ Loophole (*feritoia*)

■ Heterogeneous lithic material

■ Putlog hole (*buca pontaia*)

■ Battlement (*merlatura*)

■ Sky

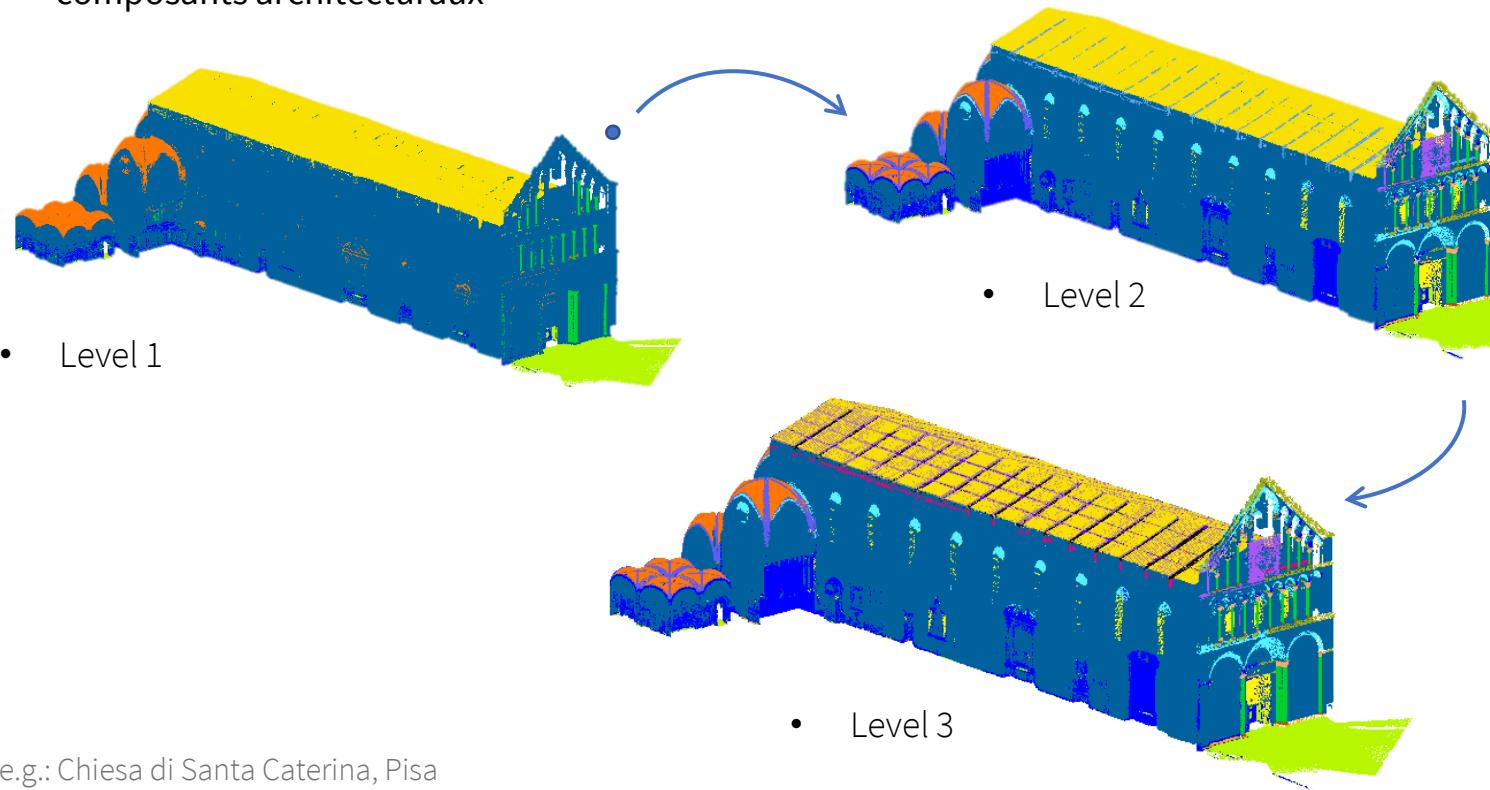


- 3D segmentation

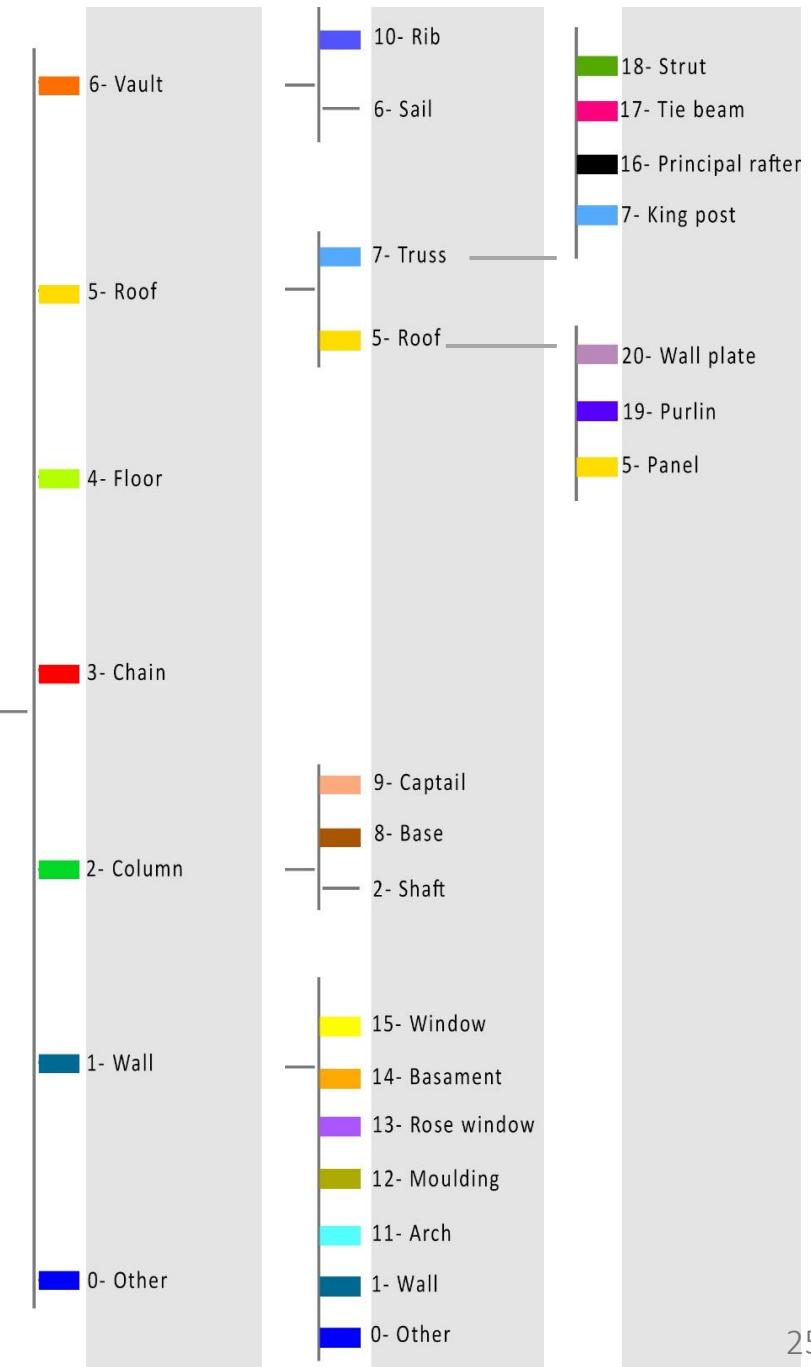
2D/3D

PROPAGATION DES ANNOTATIONS 2D/3D: APPROCHES MULTI-NIVEAU ET MULTI-RÉSOLUTION

- Envisager des niveaux successifs de segmentation
- Correspondant à différents niveaux de détail et de description des composants architecturaux

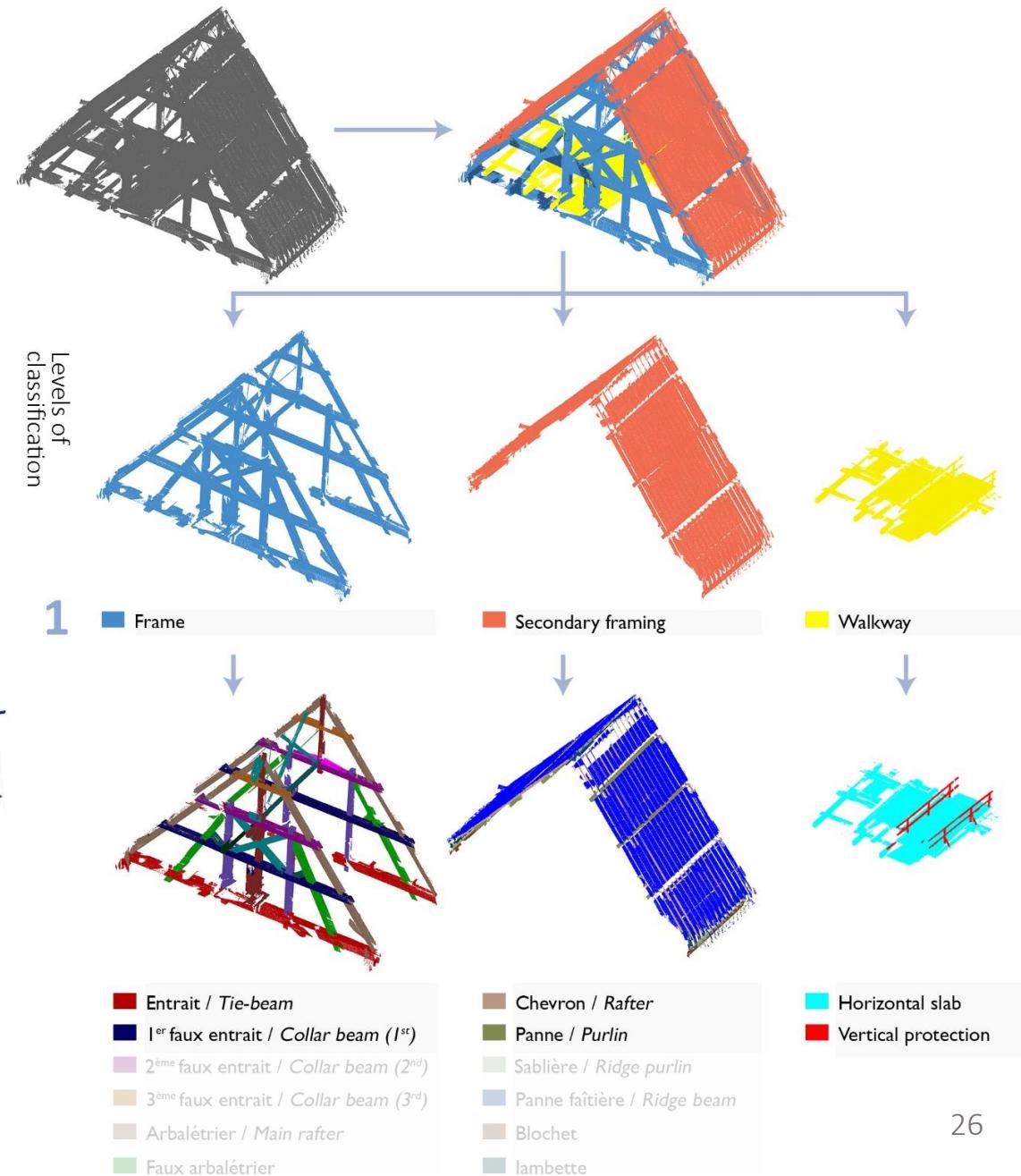
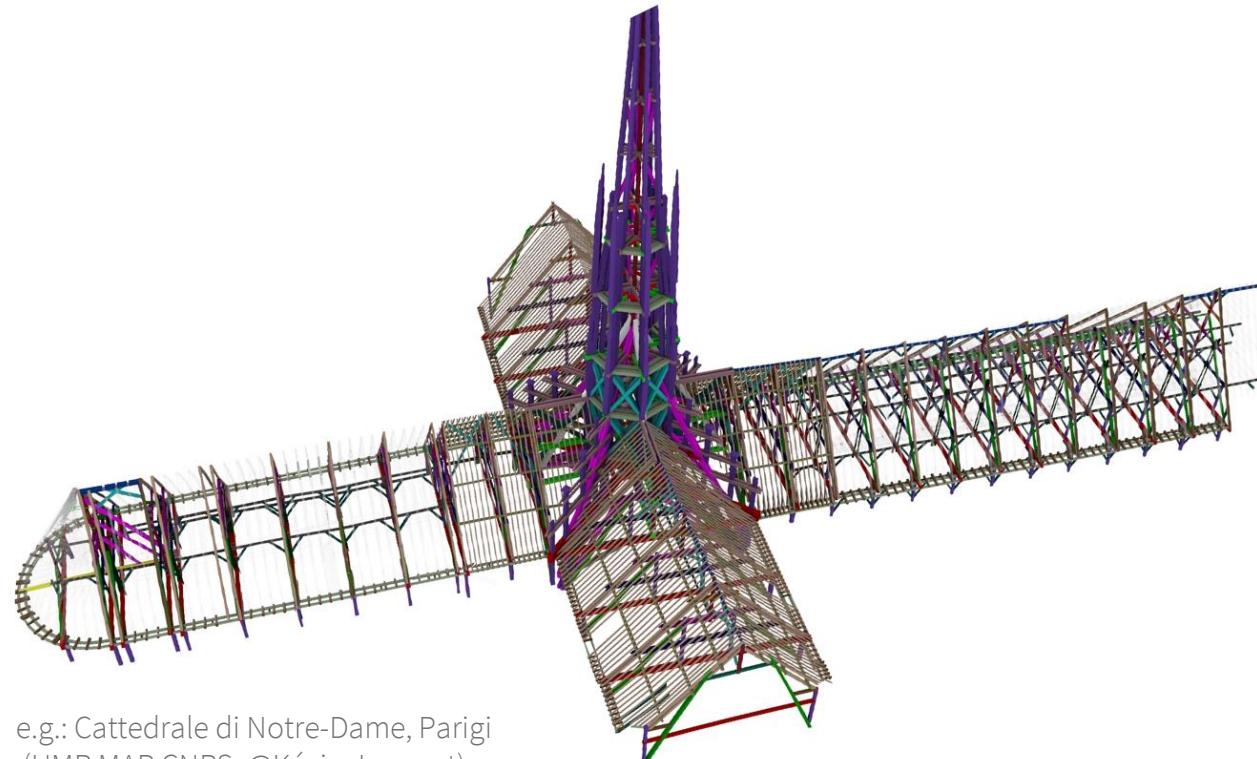


e.g.: Chiesa di Santa Caterina, Pisa



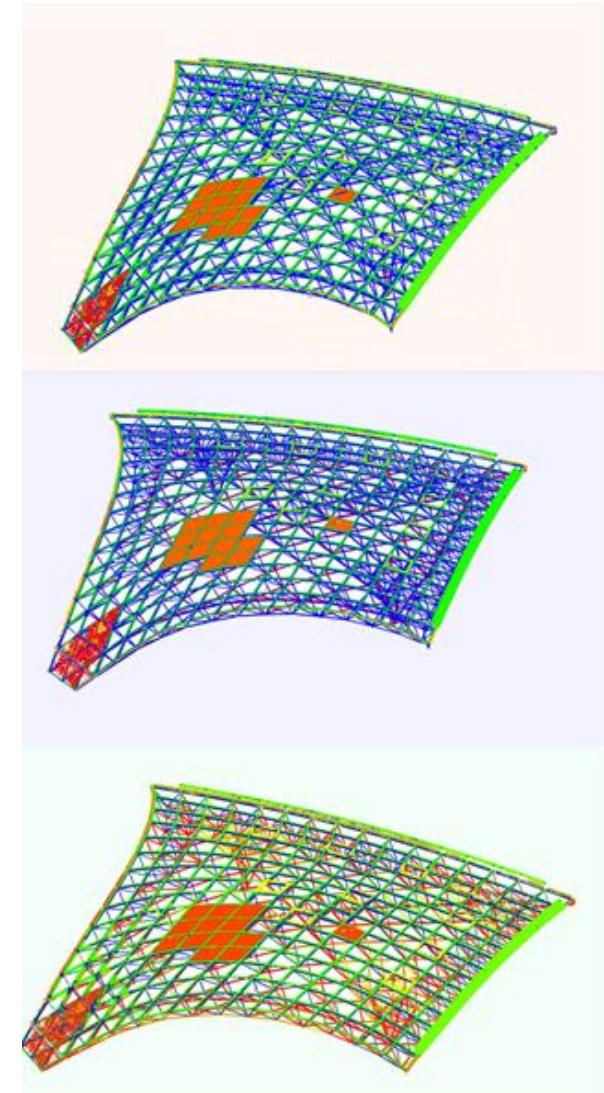
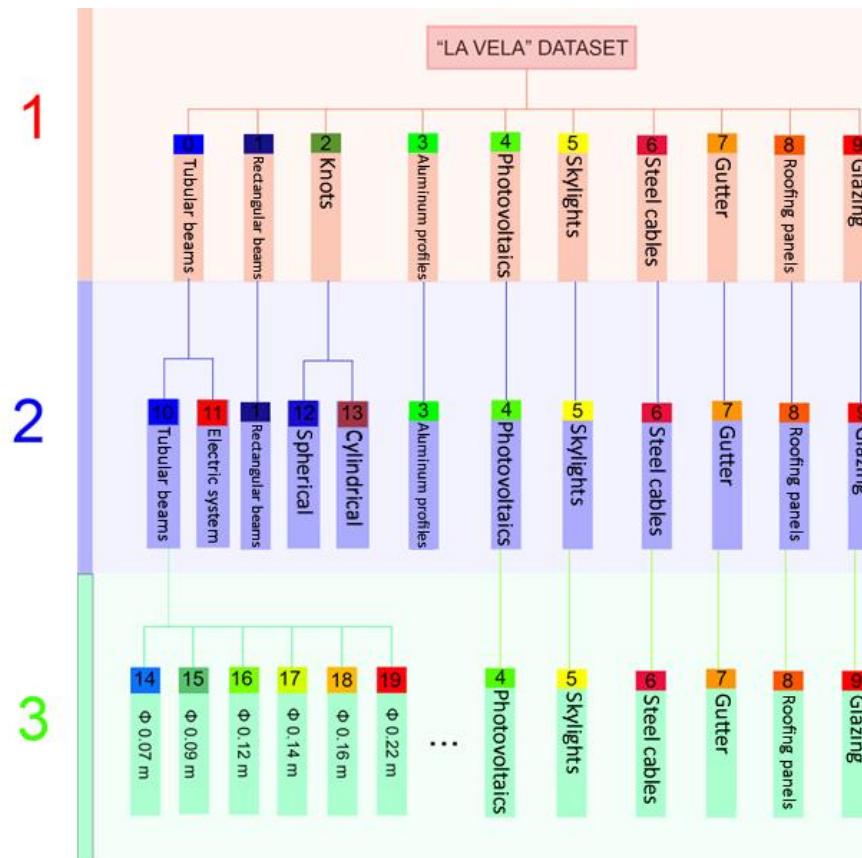
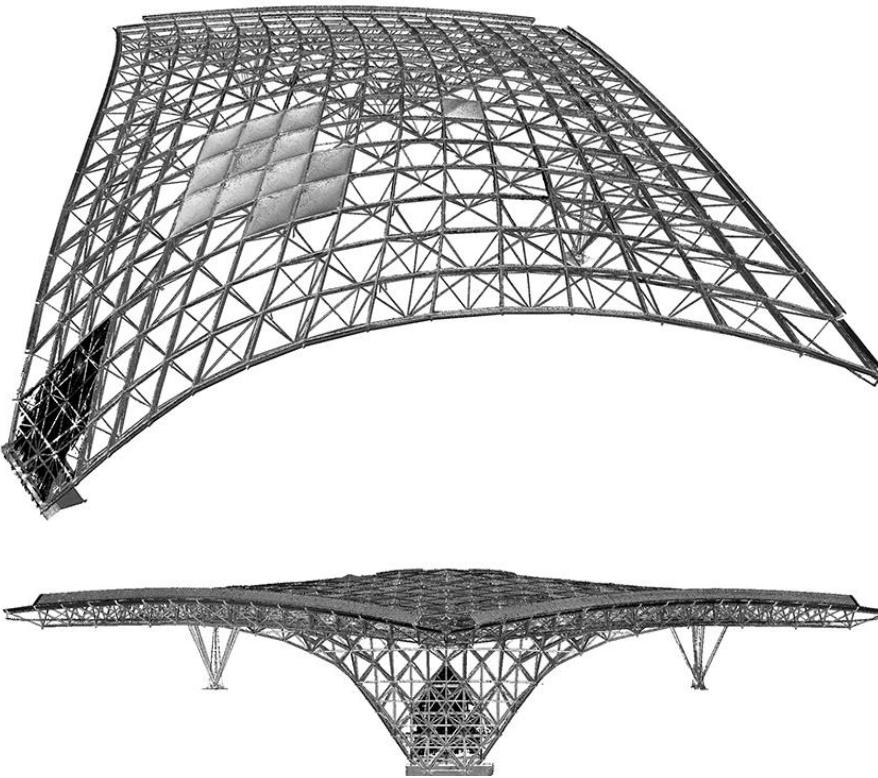
PROPAGATION DES ANNOTATIONS 2D/3D: APPROCHES MULTI-NIVEAU ET MULTI-RÉSOLUTION

- Création de modèles BIM à différents niveaux de résolution et de détail à partir du nuage de points
- Approche multi-niveaux et multi-résolution du nuage de points à la BIM



APPLICATIONS AU PATRIMOINE INDUSTRIEL

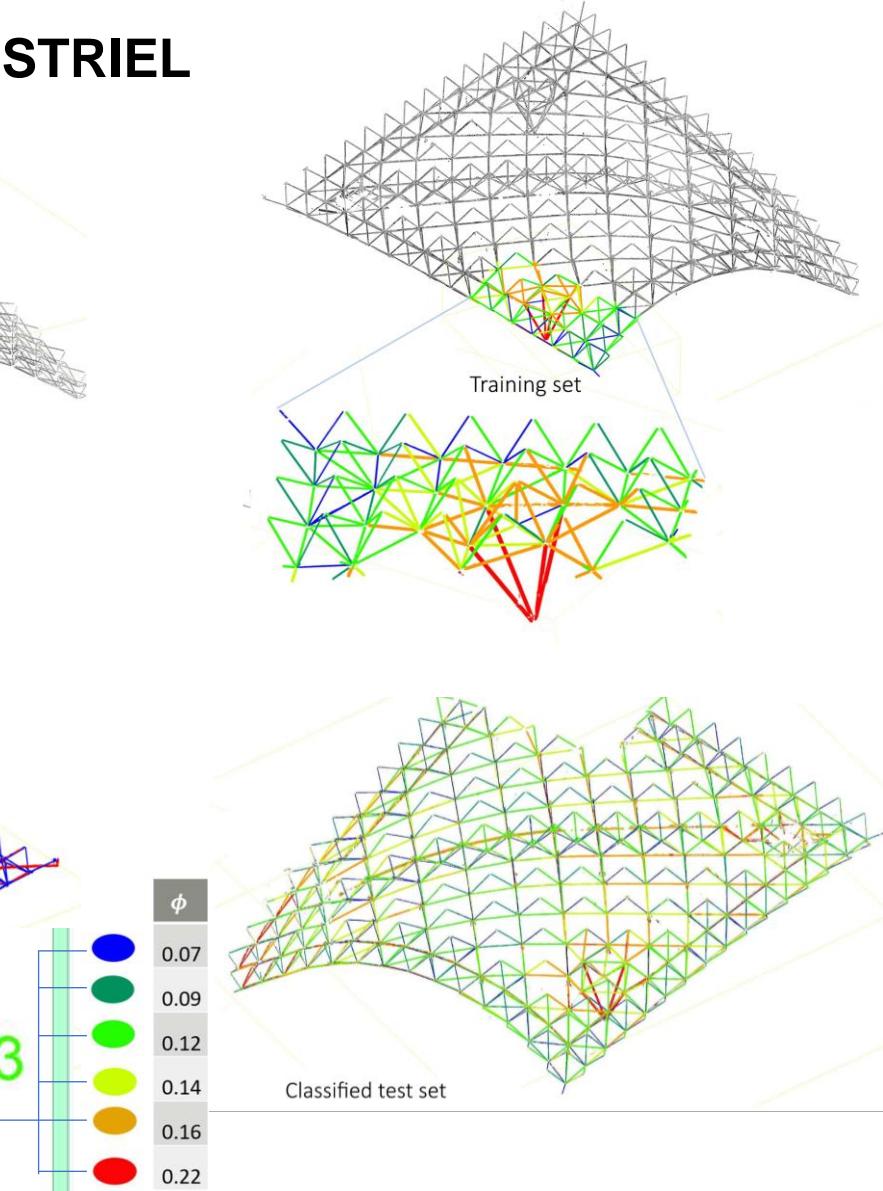
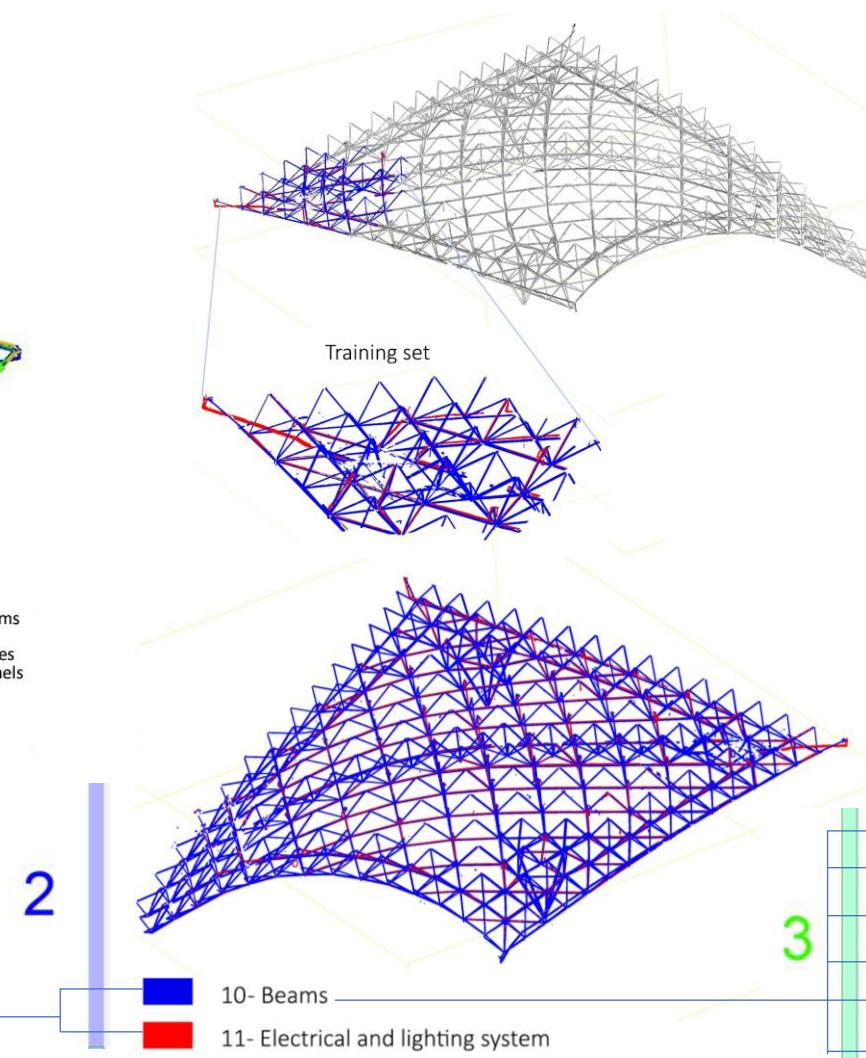
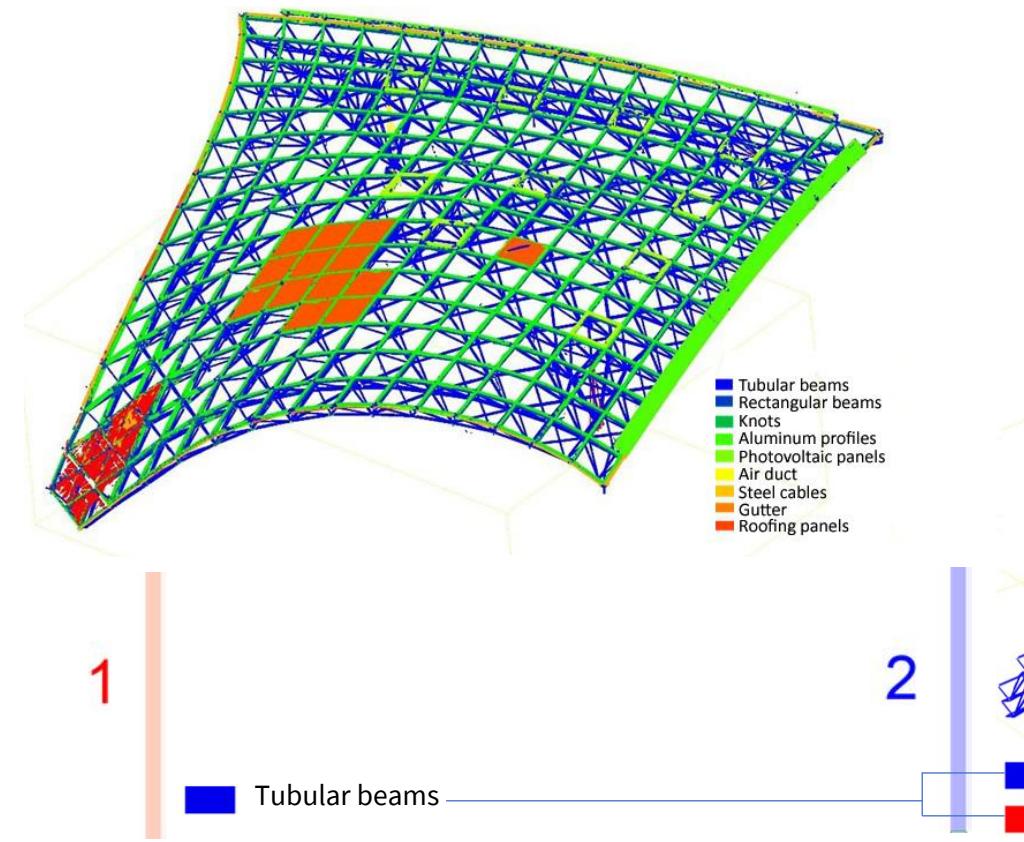
- Application de la méthodologie de segmentation sémantique à des domaines encore inexplorés, tels que le patrimoine industriel de l'architecture des 20e et 21e siècles.
& DL pour le masquage automatique d'images



La Vela roofing system in Bologna

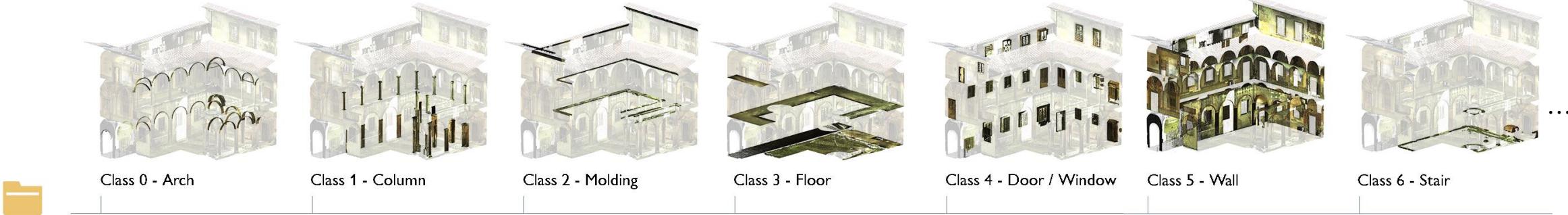
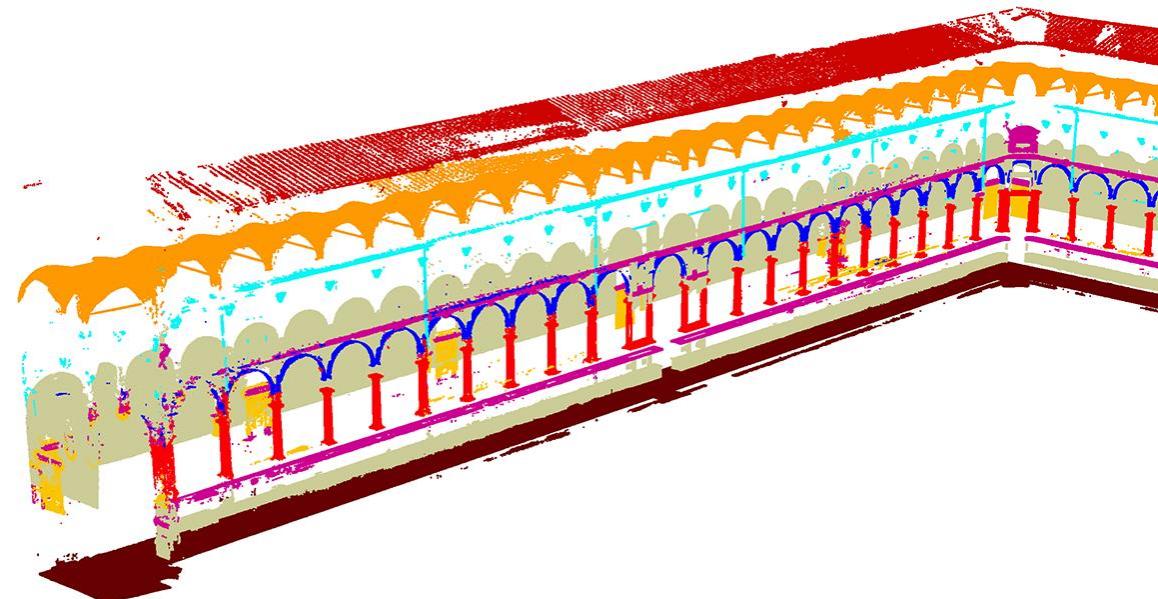
APPLICATIONS AU PATRIMOINE INDUSTRIEL

La Vela roofing system in Bologna

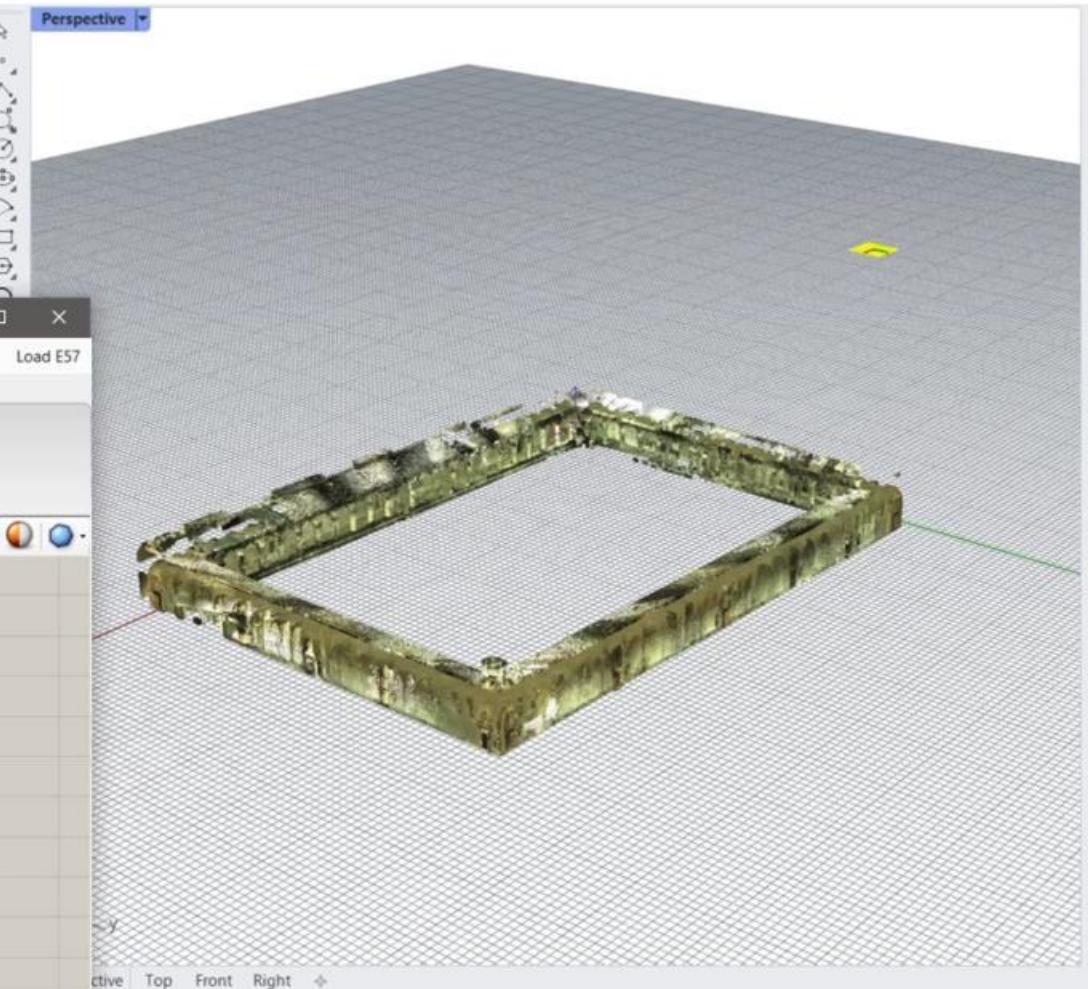
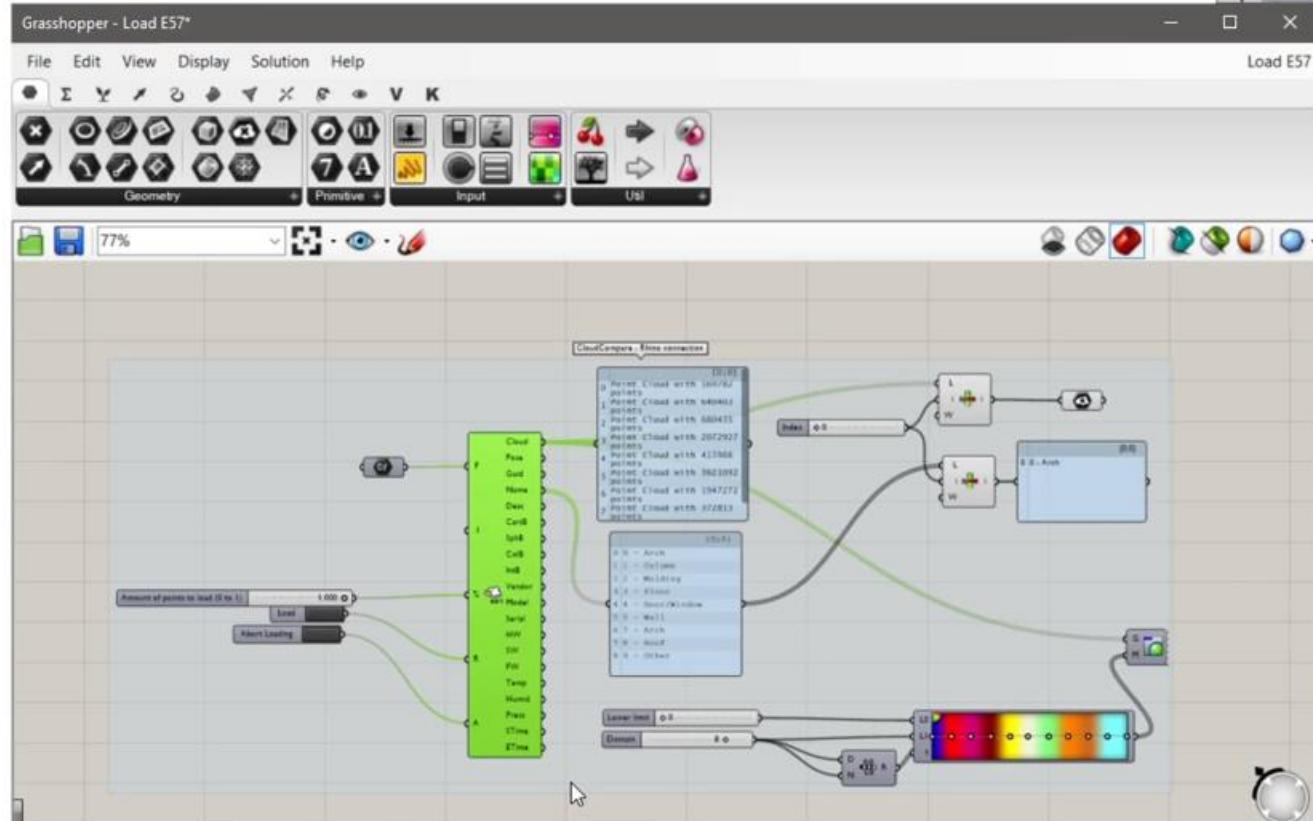


RECONSTRUCTION H-BIM À PARTIR DU NUAGE DE POINTS ANNOTÉ

- Données annotées 2D/3D relatives aux composants architecturaux utilisées pour la reconstruction des familles d'éléments architecturaux
- Vers l'automatisation des processus de numérisation vers le BIM, qui, à ce jour, sont encore manuels, chronophages et gourmands en ressources.
- Une procédure semi-automatique pour reconstruire des modèles H-BIM à partir de données 3D annotées
 - Reposant sur l'intelligence artificielle
 - Entrée : nuage de points sémantique annoté par l'IA

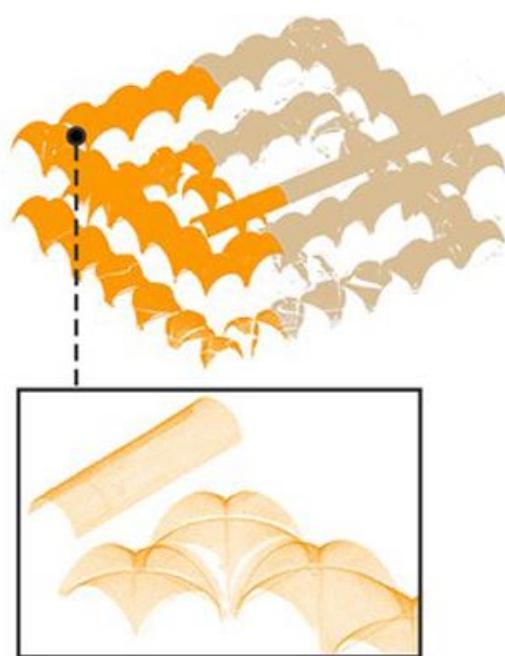


RECONSTRUCTION H-BIM À PARTIR DU NUAGE DE POINTS ANNOTÉ

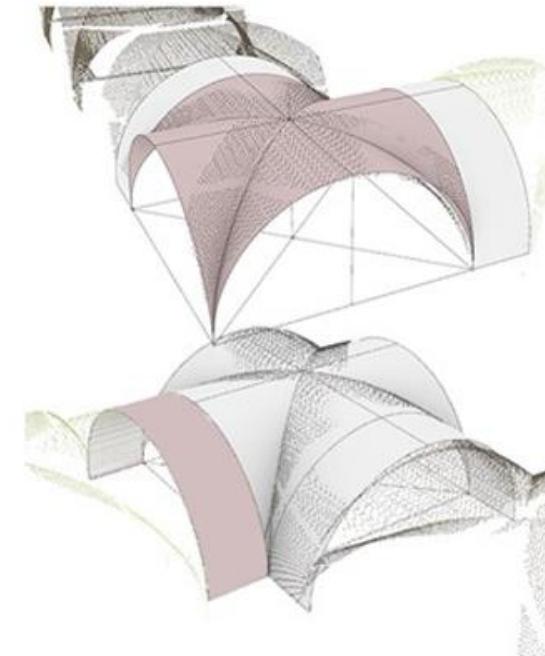


RECONSTRUCTION H-BIM À PARTIR DU NUAGE DE POINTS ANNOTÉ

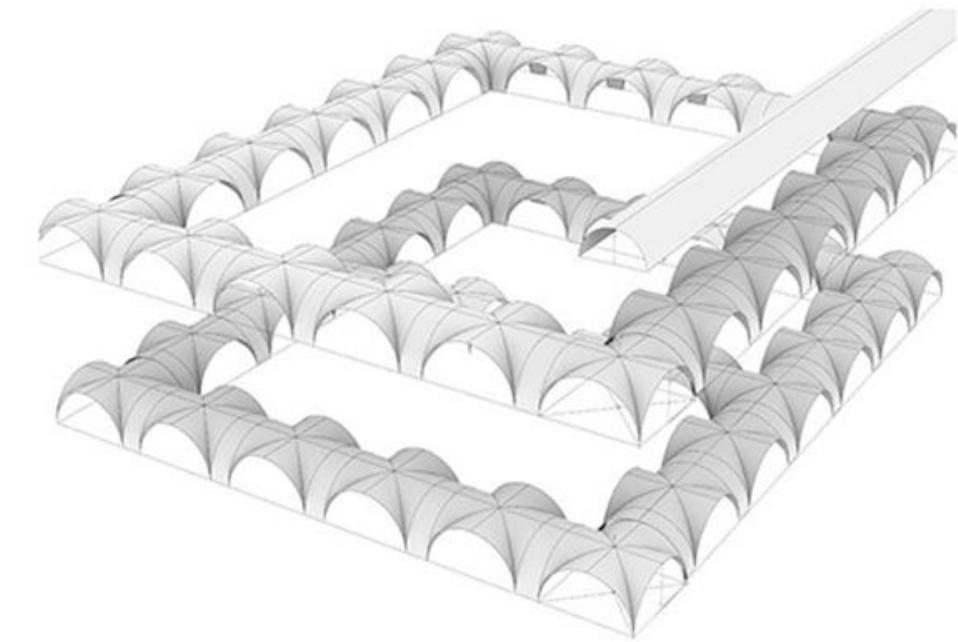
- Langage de programmation visuelle (VPL) pour la propagation de la reconstruction conceptuelle en 3D des composants des bâtiments
- La reconstruction est à nouveau effectuée via VPL



Classe source



Géométrie de référence du modèle



Propagation de l'information à l'ensemble de la classe d'éléments

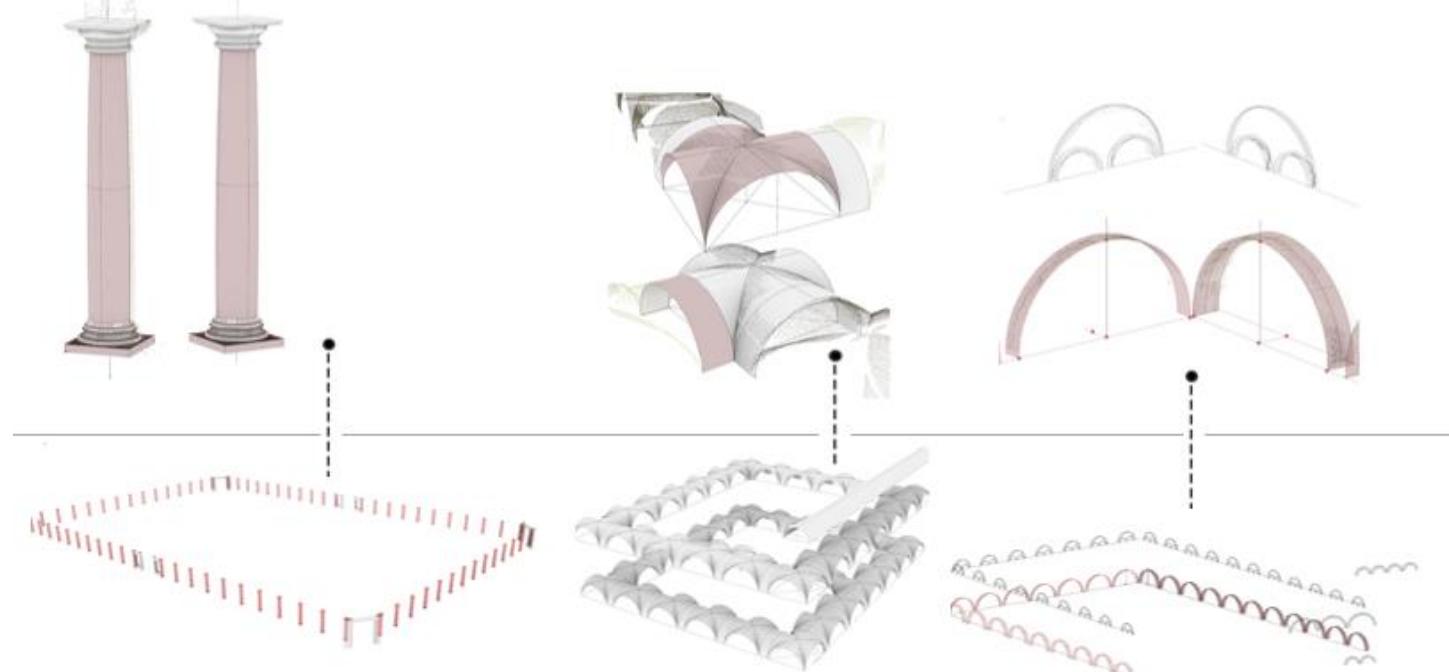
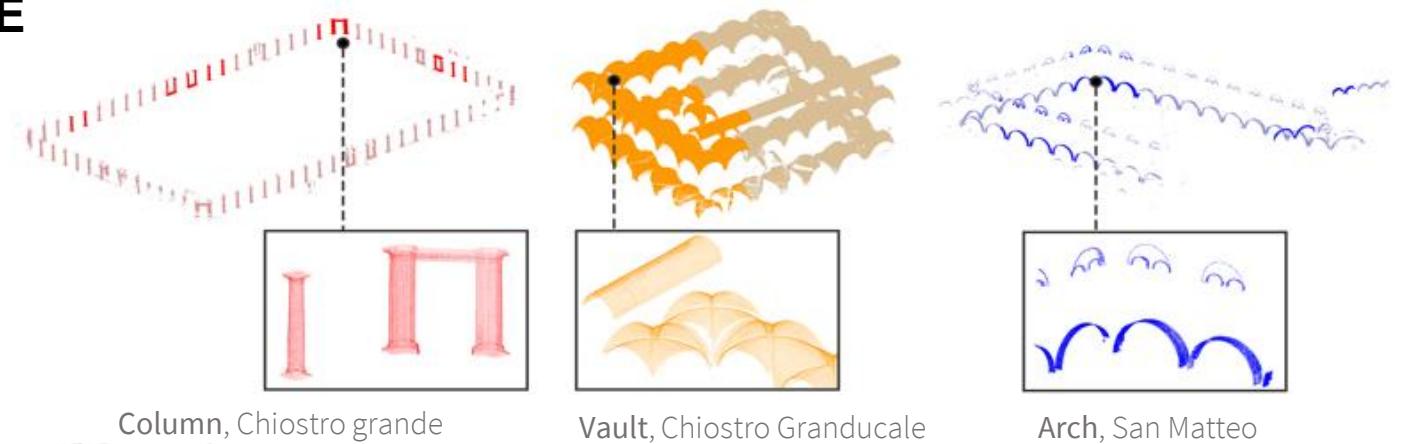
RECONSTRUCTION H-BIM À PARTIR DU NUAGE DE POINTS ANNOTÉ



Géométrie de référence du modèle

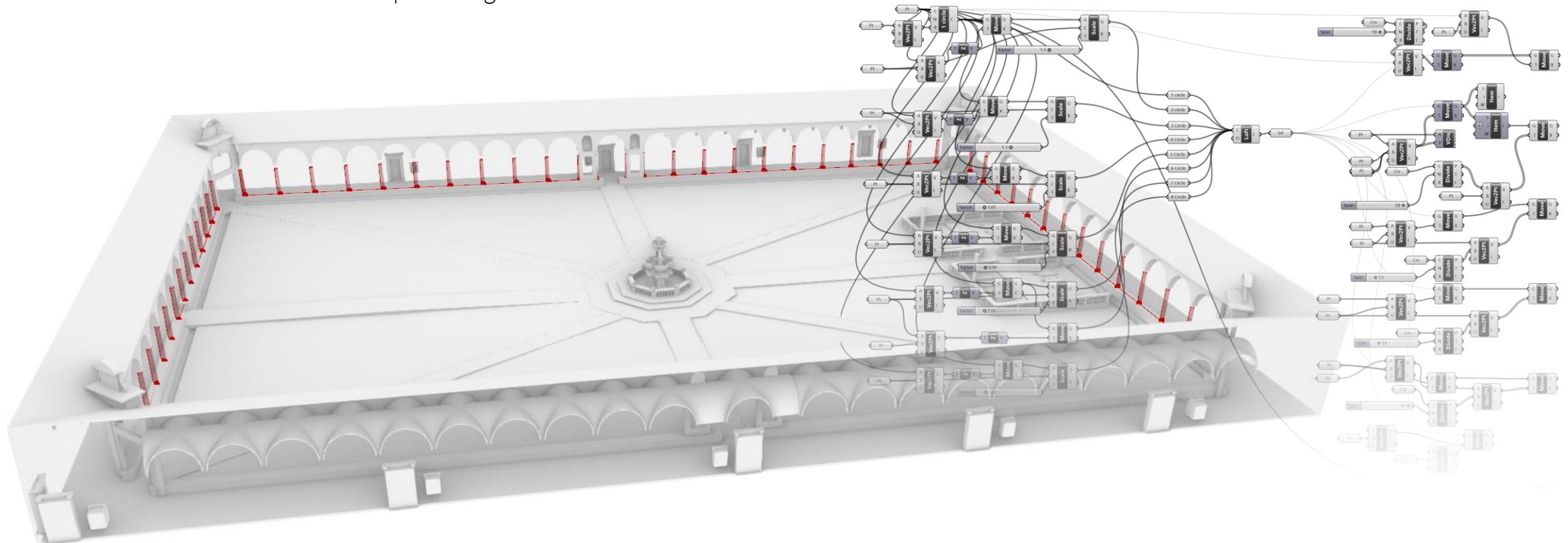


Propagation de la géométrie template



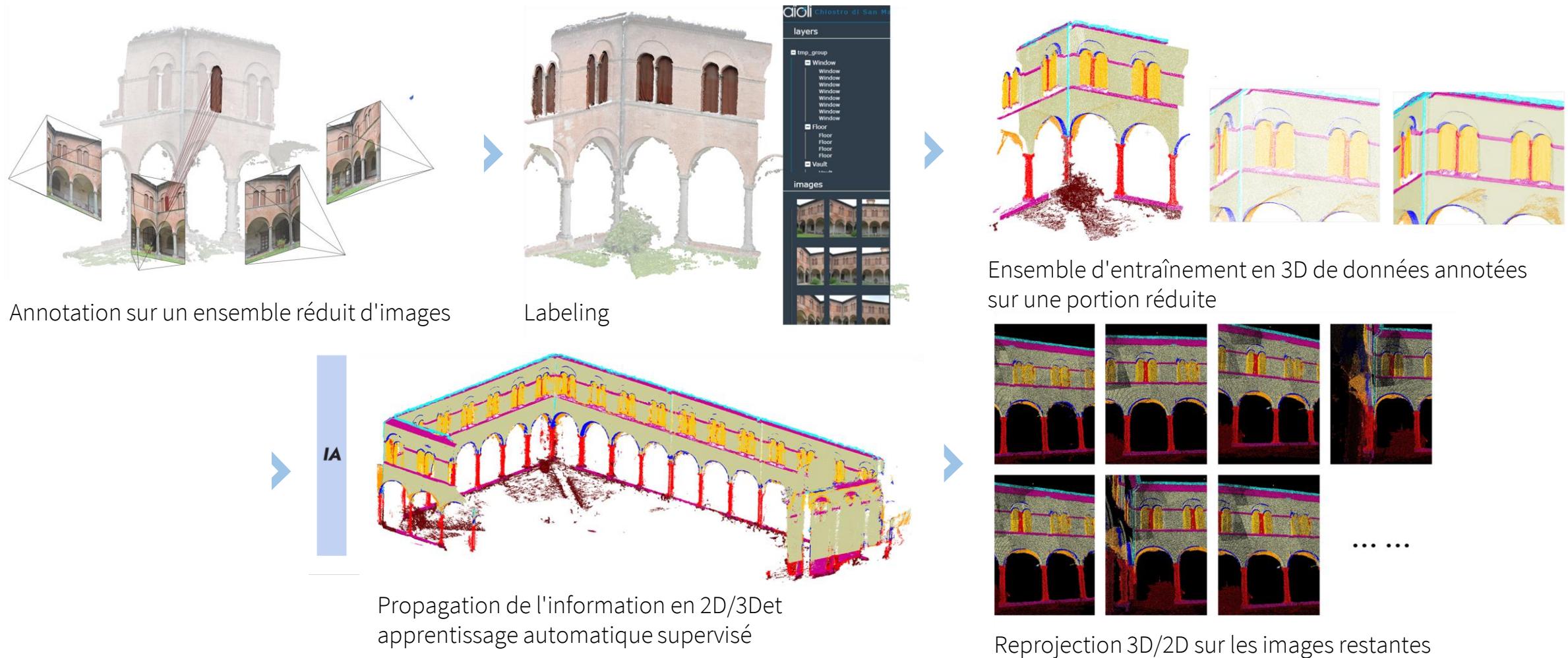
RECONSTRUCTION H-BIM À PARTIR DU NUAGE DE POINTS ANNOTÉ

- Construction du modèle H-BIM à partir de géométries de référence



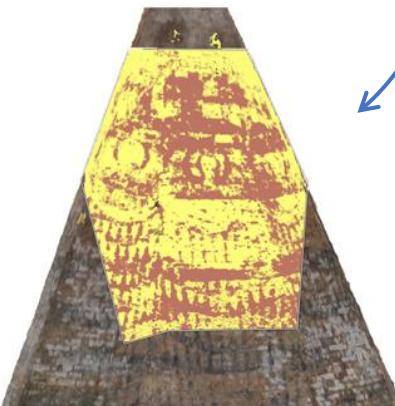
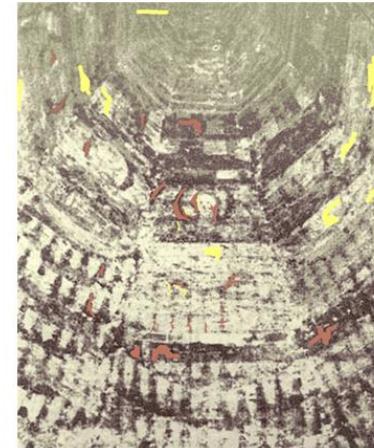
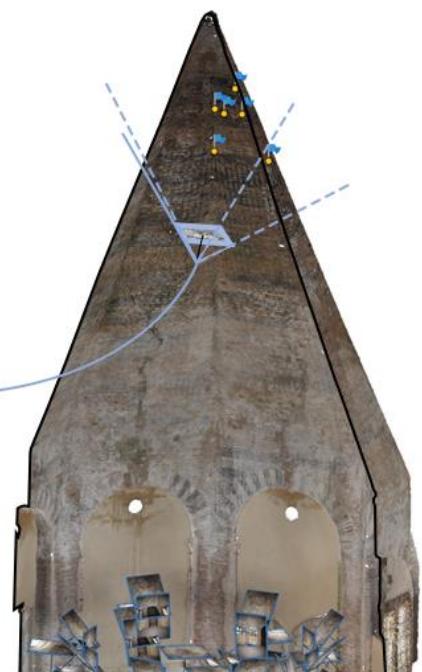
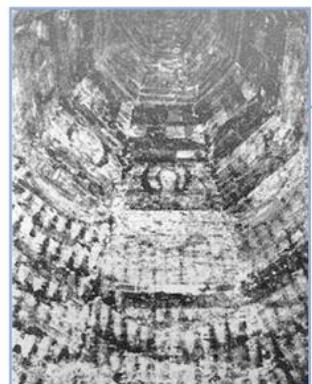
PROPAGATION DES ANNOTATIONS 2D/3D SUR LA PLATEFORME AIOLI

- Mise en œuvre de 3 outils d'annotation semi-automatiques exploitant le Machine et Deep Learning pour la plateforme Aioli. (tester la validité du processus pour une future implémentation directe dans la plateforme)



2D/3D INFORMATION PROPAGATION: SPATIALISATION DES IMAGES D'ARCHIVES ET DES ÉTATS TEMPORELS

- Spatialisation d'images nouvelles/archivistiques sur un modèle photogrammétrique existant et identification de différents états temporels sur un même modèle.
- L'information sémantique est propagée de l'image nouvellement ajoutée au reste de l'ensemble d'images, ainsi qu'au modèle 3D.



■ 0 - Brick masonry with traces of wall painting
■ 1 - Chromatic alteration of brick masonry

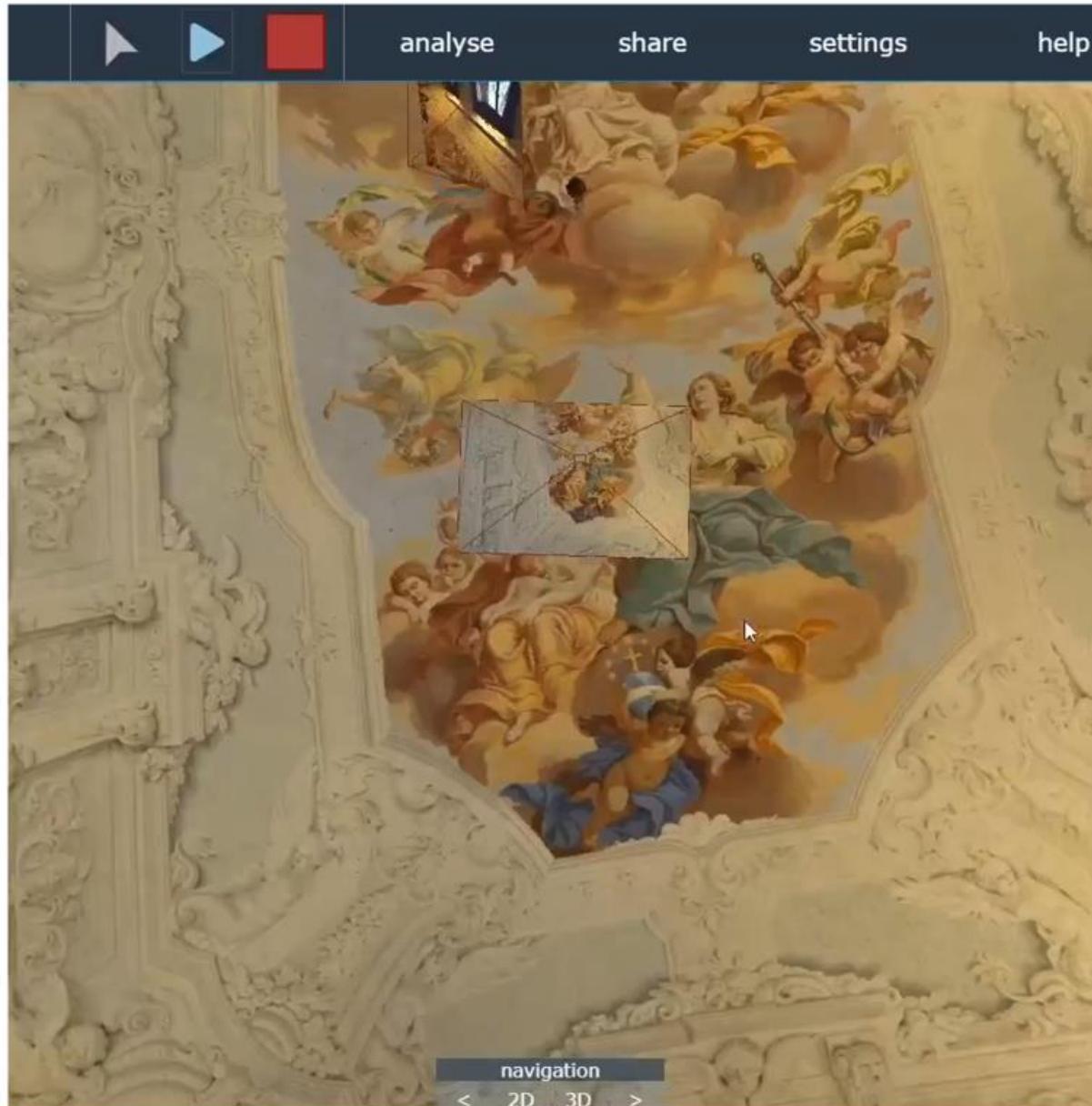
INTÉGRATION MODÈLES – ANNOTATIONS SÉMANTIQUES – RÉALITÉ VIRTUELLE



Simulation et contrôle des systèmes

Interaction homme-système

Interactivité, immersion, VR et AR



- Méthodes de soutien aux experts du patrimoine, pour la documentation, restauration et valorisation, face aux problèmes de collecte de données, de fusion, de récupération d'informations hétérogènes
- Techniques plus automatisées, basées sur Machine Learning et Deep Learning, pour classer et interpréter les relevés bruts - gestion plus efficace des données du patrimoine numérique
- Meilleure compréhension et connaissance de l'objet, par la restitution de ses attributs visuels, géométriques et descriptifs
- Connexion multimodale et l'interconnexion des représentations numériques à d'autres sources existantes (2D ou 3D) d'un même artefact patrimonial, même en vue de la construction de représentations BIM

IA POUR L'INTERPRETATION DE DONNEES 3D DANS LE PATRIMOINE ET L'INDUSTRIE

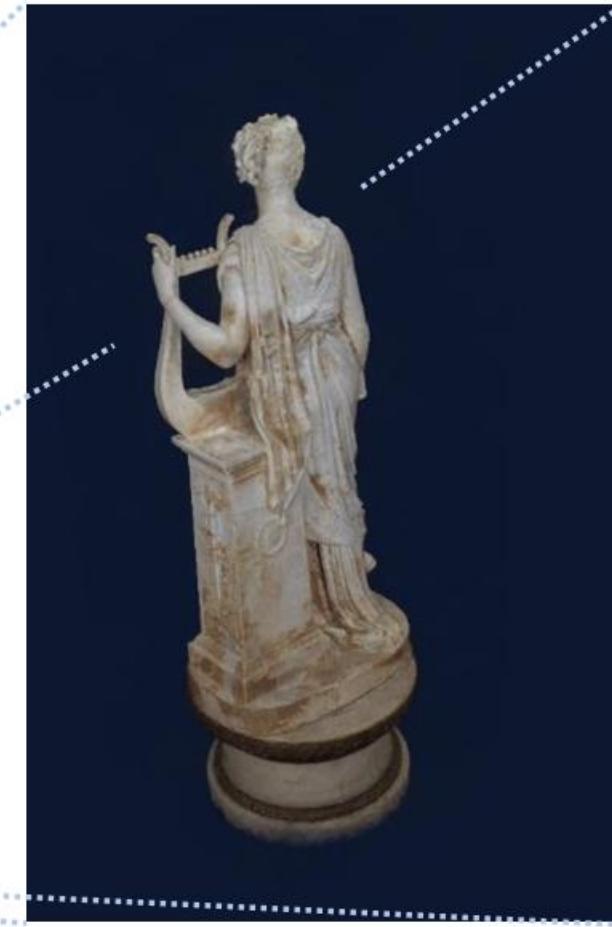
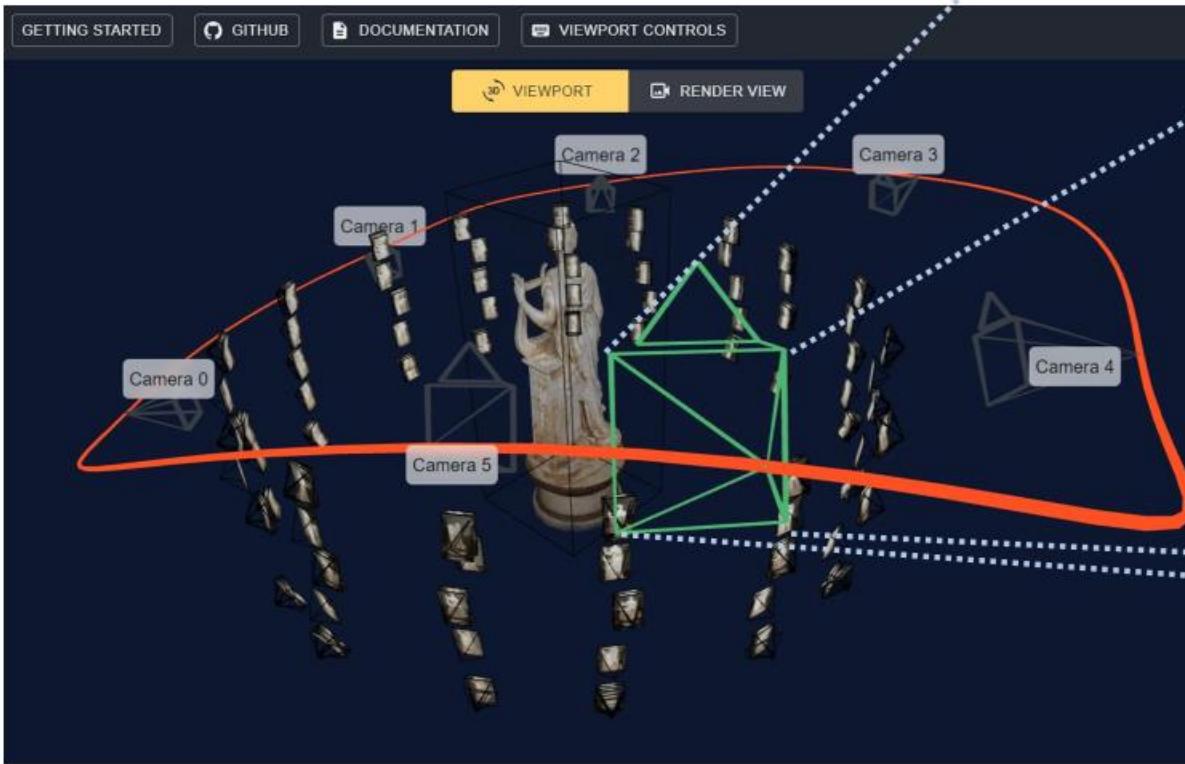
Valeria Croce

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSA), Aix-en-Provence
valeria.croce@ensam.eu

6 juin 2024, Webinaire « Autour de la 3D »
GDR CNRS MAGIS et GDR CNRS IG-RV

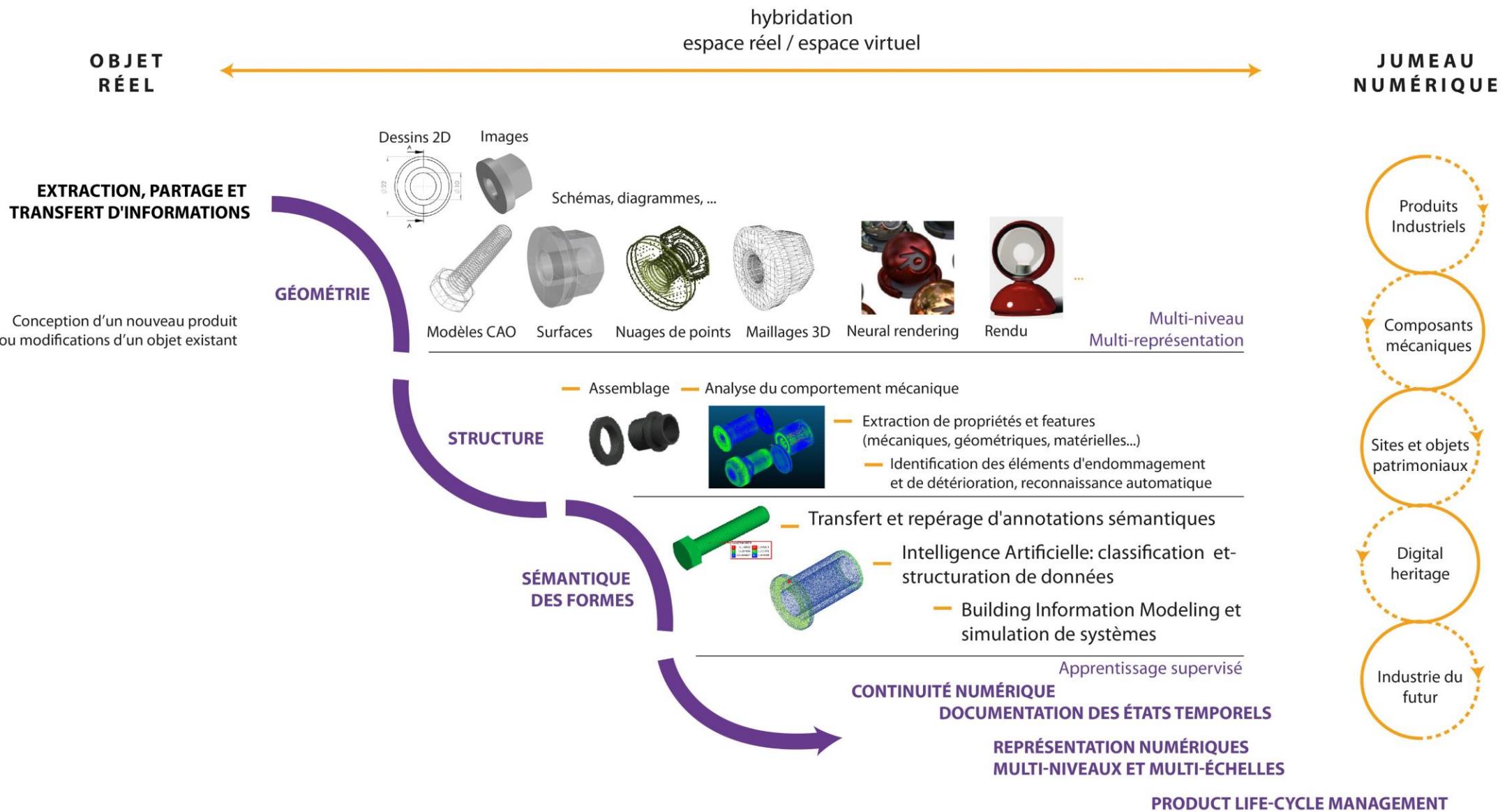
ONGOING WORK

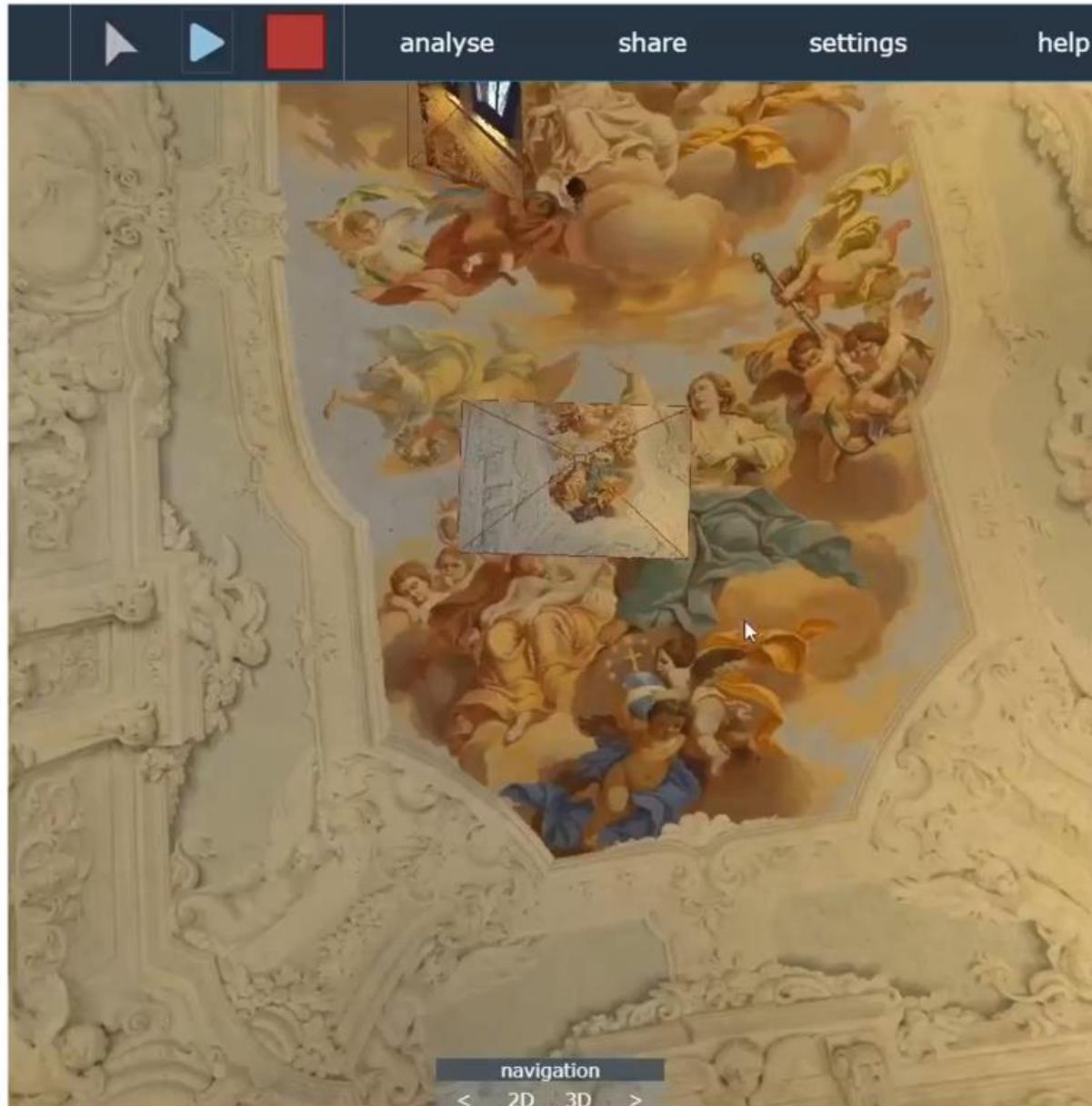
Champs de radianc neuronaux (Neural Radiance Fields)
pour Rendu volumétrique et synthèse de nouvelles vues



Évaluation des NeRF en combinaison avec d'autres techniques existantes pour la représentation du patrimoine architectural basée sur la réalité

ONGOING WORK





Merci de votre attention

IA POUR L'INTERPRETATION DE DONNEES 3D DANS LE PATRIMOINE ET L'INDUSTRIE

Valeria Croce
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSA), Aix-en-Provence
valeria.croce@ensam.eu

6 juin 2024, Webinaire « Autour de la 3D »
GDR CNRS MAGIS et GDR CNRS IG-RV