



Du relevé des voûtes à la restitution des charpentes, outils et méthodes au service de la recherche

Renato Saleri, URM ENSA Lyon MC MAP-Aria, gt num.



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

Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Le suivi documenté en 3D des opérations de déblaiement.

Le relevé de l'extrados des voûtes:

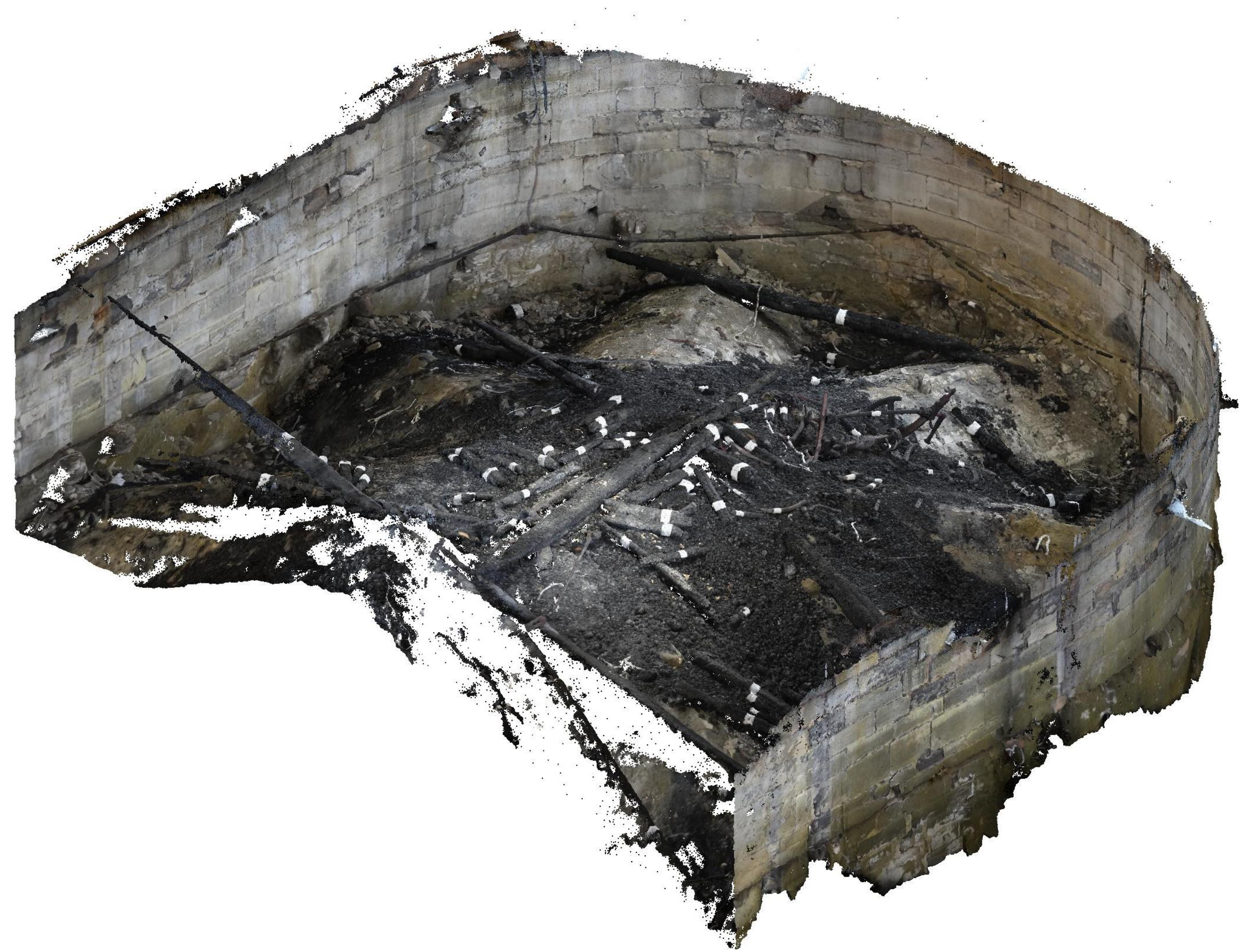
Un relevé photogrammétrique multi-temporel

Des inspections visuelles répétables à l'identique

Mise en œuvre par des opérateurs non-spécialistes

Ne pas entraver les opérations en cours

Matériel compatible avec le protocole de décontamination



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

De très fortes **contraintes opérationnelles**.

Les contraintes:

Exiguïté du site à relever

Obstacles omniprésents temporaires et permanents

Masquage des constellations de satellites par un plancher en lamellé-collé

Impossibilité d'avoir une vue globale du site

Plusieurs corps de métier intervenant simultanément



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

De très fortes **contraintes opérationnelles**.

Les contraintes:

- Exiguïté du site à relever
- Obstacles omniprésents temporaires et permanents
- Masquage des constellations de satellites par un plancher en lamellé-collé
- Impossibilité d’avoir une vue globale du site
- Plusieurs corps de métier intervenant simultanément



Quelle alternative au drone?

Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Les contraintes:

- Exiguïté du site à relever
- Obstacles omniprésents temporaires et permanents
- Masquage des constellations de satellites par un plancher en lamellé-collé
- Impossibilité d'avoir une vue globale du site
- Plusieurs corps de métier intervenant simultanément

Les besoins:

- Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**
- D'intervenir dans un contexte de travail très particulier
- Un fonctionnement du dispositif fiable et sûr
- Ne nécessitant pas de **compétences particulières**



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Un cable cam?

- Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**
- D'intervenir dans un contexte de travail particulier
- Un fonctionnement fiable et sûr
- Ne nécessitant pas de **compétences particulières**

Les atouts:

- Une technologie existante, disponible « immédiatement »
- Câbles « à demeure », garants d'une répétabilité des trajectoires
- Des dimensions contenues
- Pilotable en toute sécurité à distance
- Compatible avec le protocole « plomb » du site

Une technologie clé en main?

- Extension verticale somme toute importante
- Partage une grosse portion d'espace avec les cordistes
- Doit être contrôlé par plusieurs opérateurs
- Mono-caméra, multiplication des allers-retours
- Impossibilité d'apprécier le recouvrement inter-images

...est elle vraiment adaptée?

Tête motorisée



Nacelle gyrostabilisée



Appareil photo



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Un cable cam?

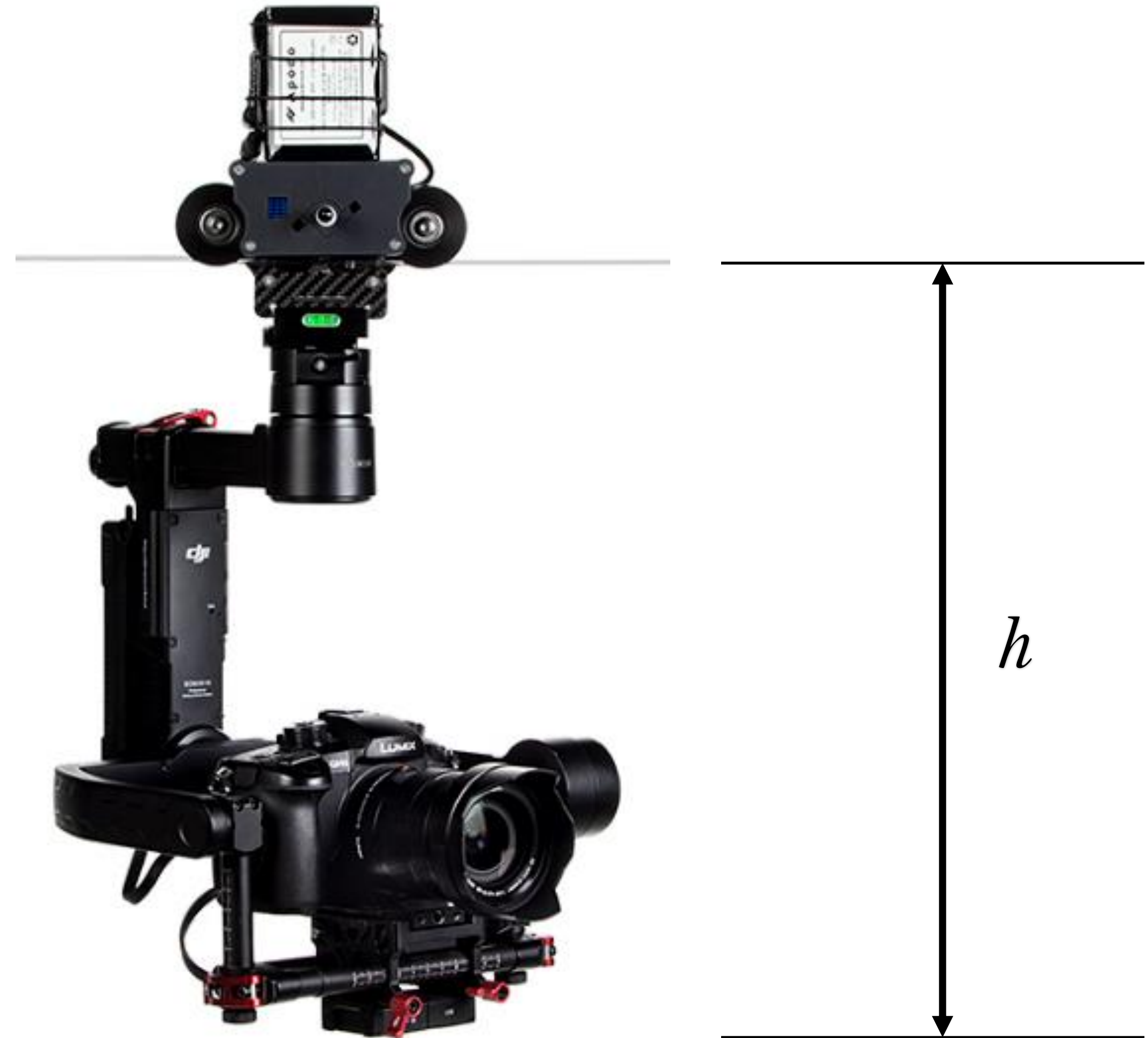
Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**
D'intervenir dans un contexte de travail particulier
Un fonctionnement fiable et sûr
Ne nécessitant pas de **compétences particulières**

Les atouts:

Une technologie existante, disponible « immédiatement »
Câbles « à demeure », garants d'une répétabilité des trajectoires
Des dimensions contenues
Pilotable en toute sécurité à distance
Compatible avec le protocole « plomb » du site

Une technologie clé en main?

Extension verticale somme toute importante
Partage une grosse portion d'espace avec les cordistes
Doit être contrôlé par plusieurs opérateurs
Mono-caméra, multiplication des allers-retours
Impossibilité d'apprécier le recouvrement inter-images



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Un cable cam?

Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**

D'intervenir dans un contexte de travail particulier

Un fonctionnement fiable et sûr

Ne nécessitant pas de **compétences particulières**

Les atouts:

Une technologie existante, disponible « immédiatement »

Câbles « à demeure », garants d'une répétabilité des trajectoires

Des dimensions contenues

Pilotable en toute sécurité à distance

Compatible avec le protocole « plomb » du site

Une technologie clé en main?

Extension verticale somme toute importante

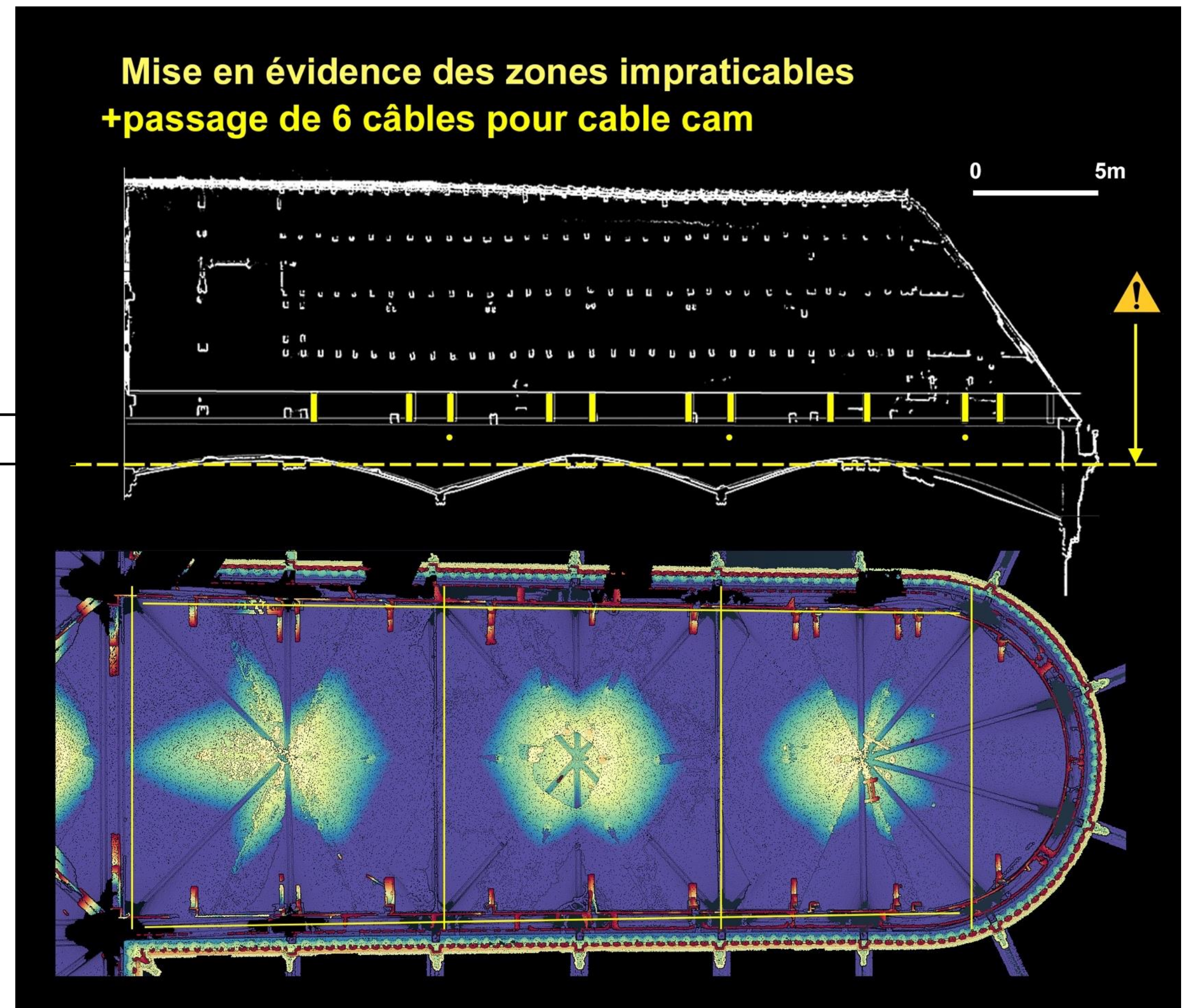
Partage une grosse portion d'espace avec les cordistes

Doit être contrôlé par plusieurs opérateurs

Mono-caméra, multiplication des allers-retours

Impossibilité d'apprécier le recouvrement inter-images

h



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Un cable cam?

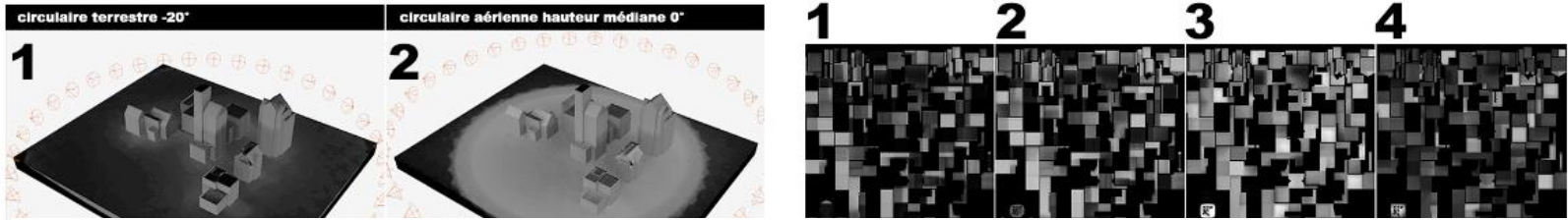
- Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**
- D'intervenir dans un contexte de travail particulier
- Un fonctionnement fiable et sûr
- Ne nécessitant pas de **compétences particulières**

Les atouts:

- Une technologie existante, disponible « immédiatement »
- Câbles « à demeure », garants d'une répétabilité des trajectoires
- Des dimensions contenues
- Pilotable en toute sécurité à distance
- Compatible avec le protocole « plomb » du site

Une technologie clé en main?

- Extension verticale et horizontale plus continue
- Positionnement des lignes d'appui plus proches des portistes lamellé-collé
- Utilisable par un seul opérateur assisté d'un cordiste
- Réduction du nombre d'aller-retours nécessaires par la mise en place de 2 puis 3 caméras
- Développement d'un outil spécifique pour l'optimisation du recouvrement



Survey Data

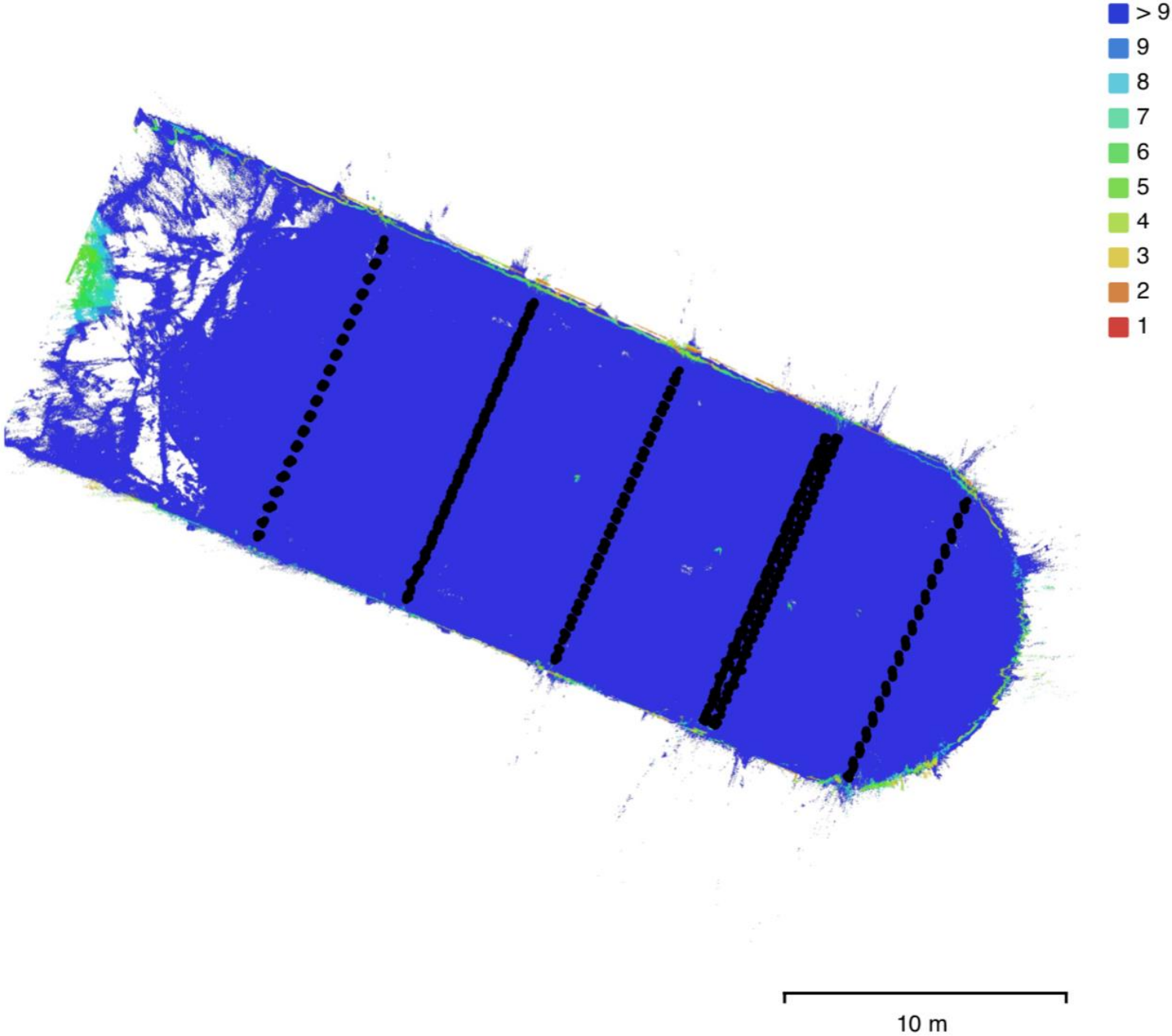


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	799	Camera stations:	799
Flying altitude:	3.95 m	Tie points:	674,857
Ground resolution:	1.21 mm/pix	Projections:	2,331,834
Coverage area:	415 m²	Reprojection error:	2.02 pix

Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Développement d'un outil de relevé **spécifique** permettant:

Un cable cam?

Une mise en œuvre rapide et aisée pour des **non spécialistes**

D'intervenir dans un contexte de travail particulier

Un fonctionnement fiable et sûr

Ne nécessitant pas de **compétences particulières**

Les atouts:

Une technologie existante, disponible « immédiatement »

Câbles « à demeure », garants d'une répétabilité des trajectoires

Des dimensions contenues

Pilotable en toute sécurité à distance

Compatible avec le protocole « plomb » du site

Une technologie clé en main?

Une extension verticale plus contenue

Positionnement des lignes au plus près des poutres lamellé-collé

Utilisable par un seul opérateur assisté d'un cordiste

Réduction du nombre d'aller-retours nécessaires par la mise en place de 2 puis 3 caméras

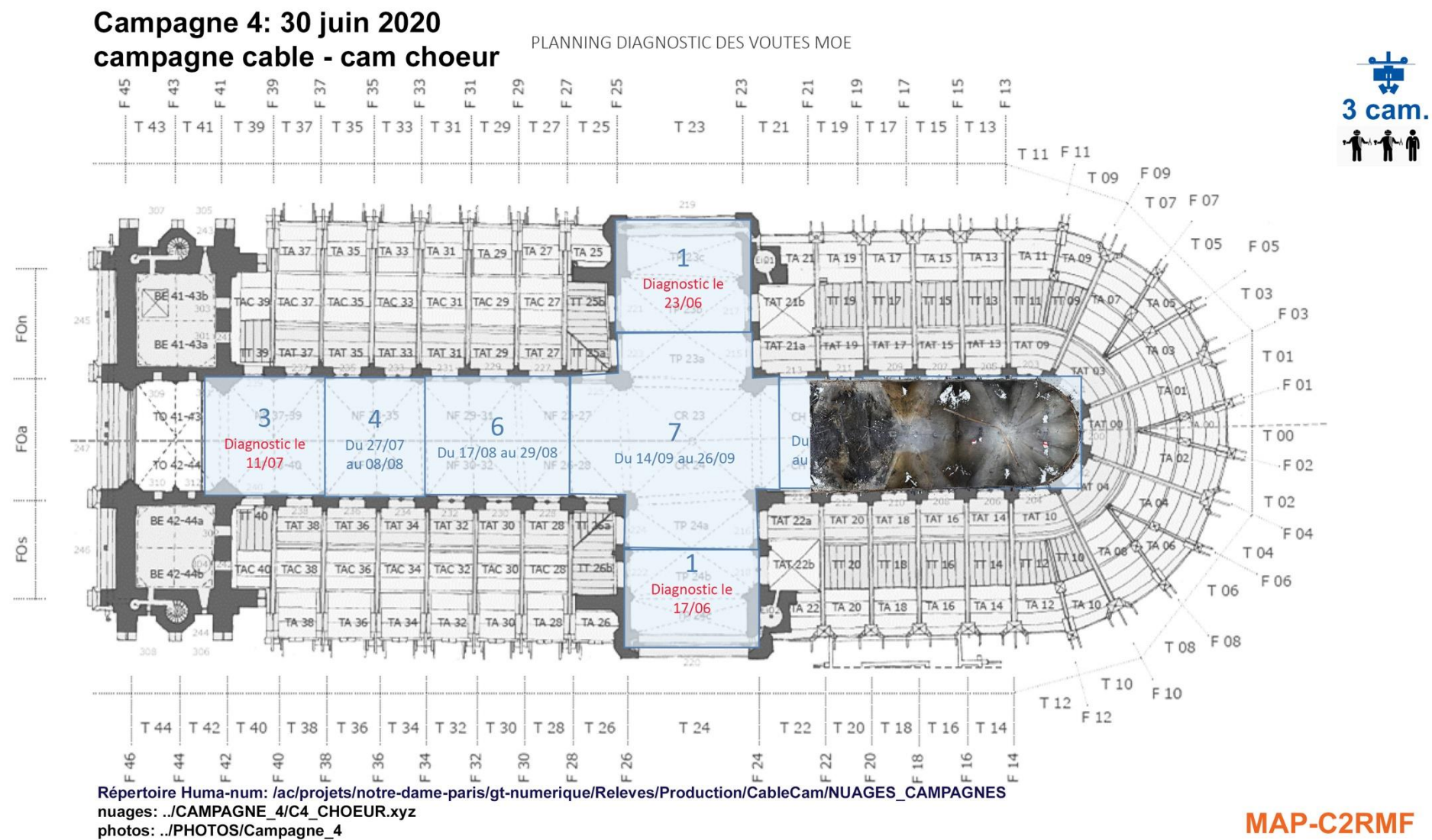
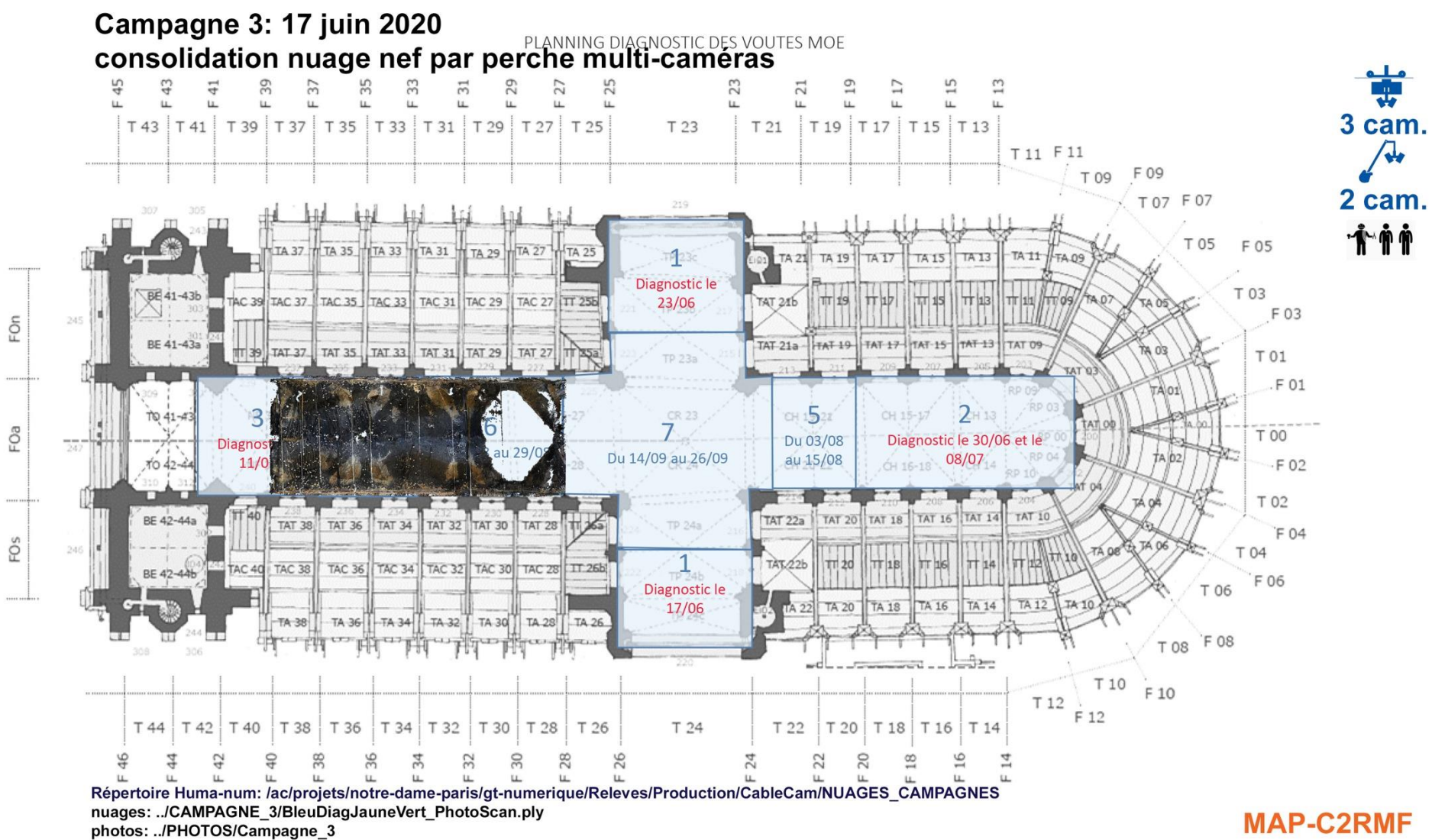
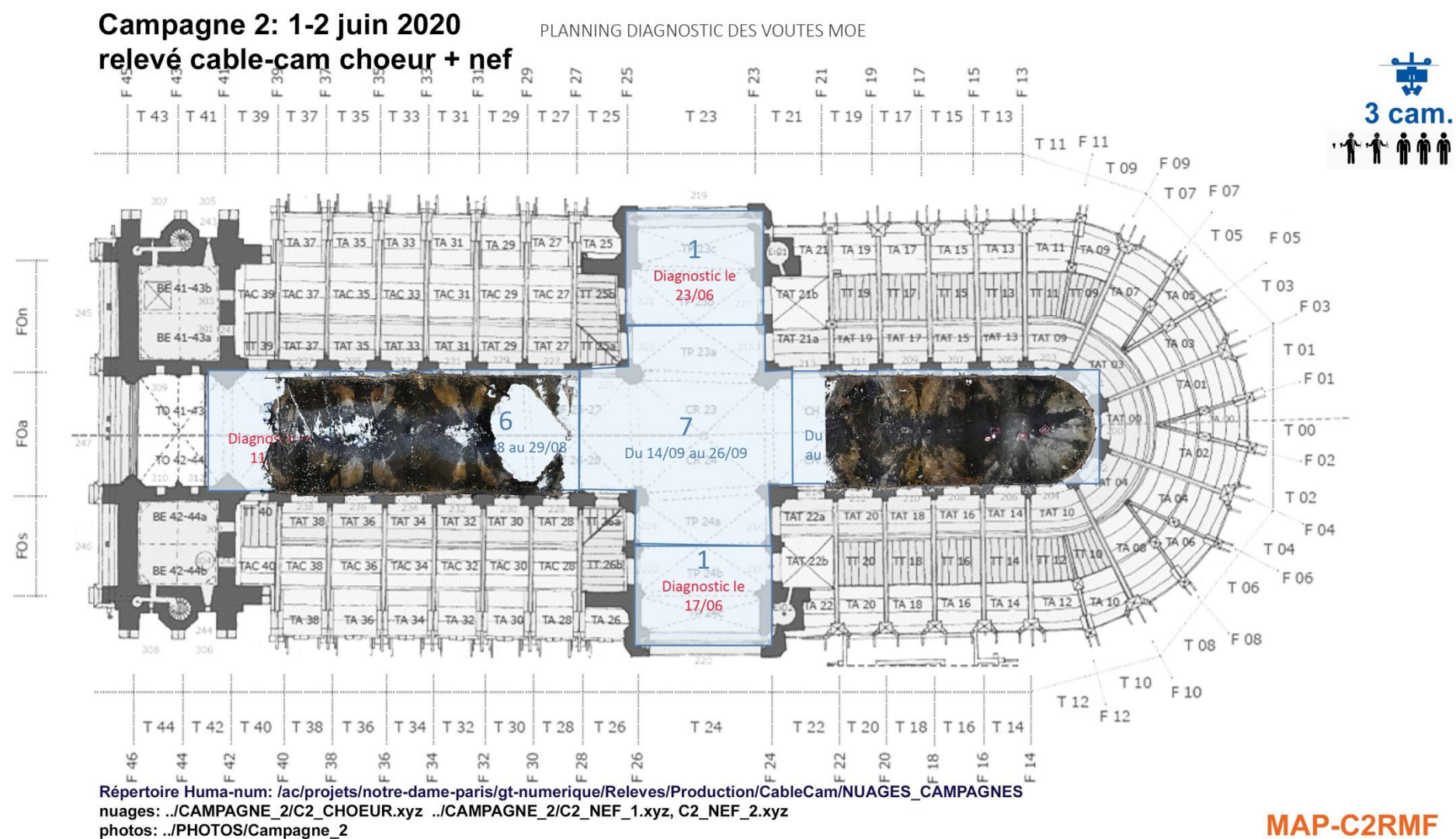
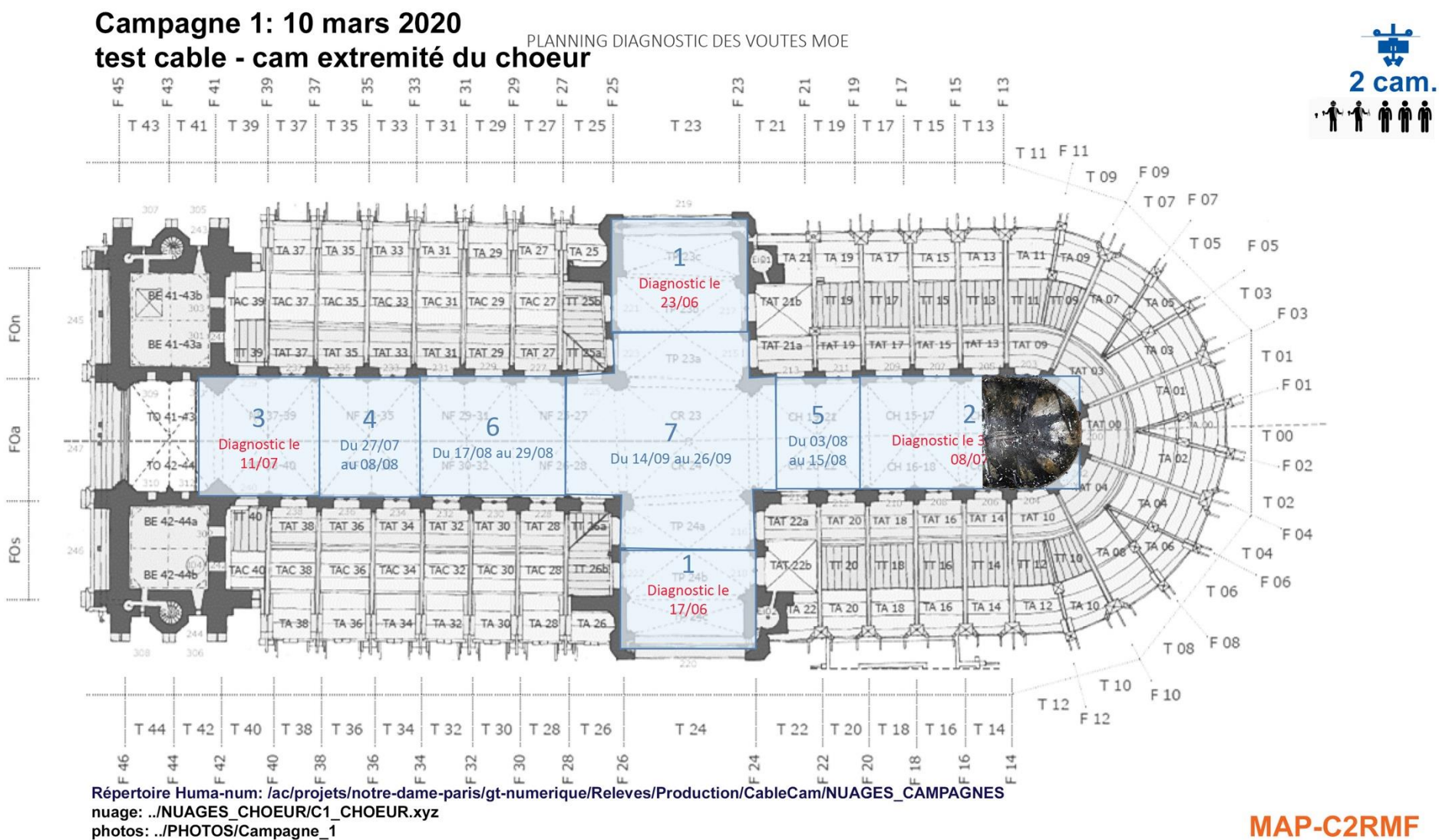
Développement d'un outil spécifique pour l'optimisation du recouvrement

Une superbe mallette de transport offerte!



Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

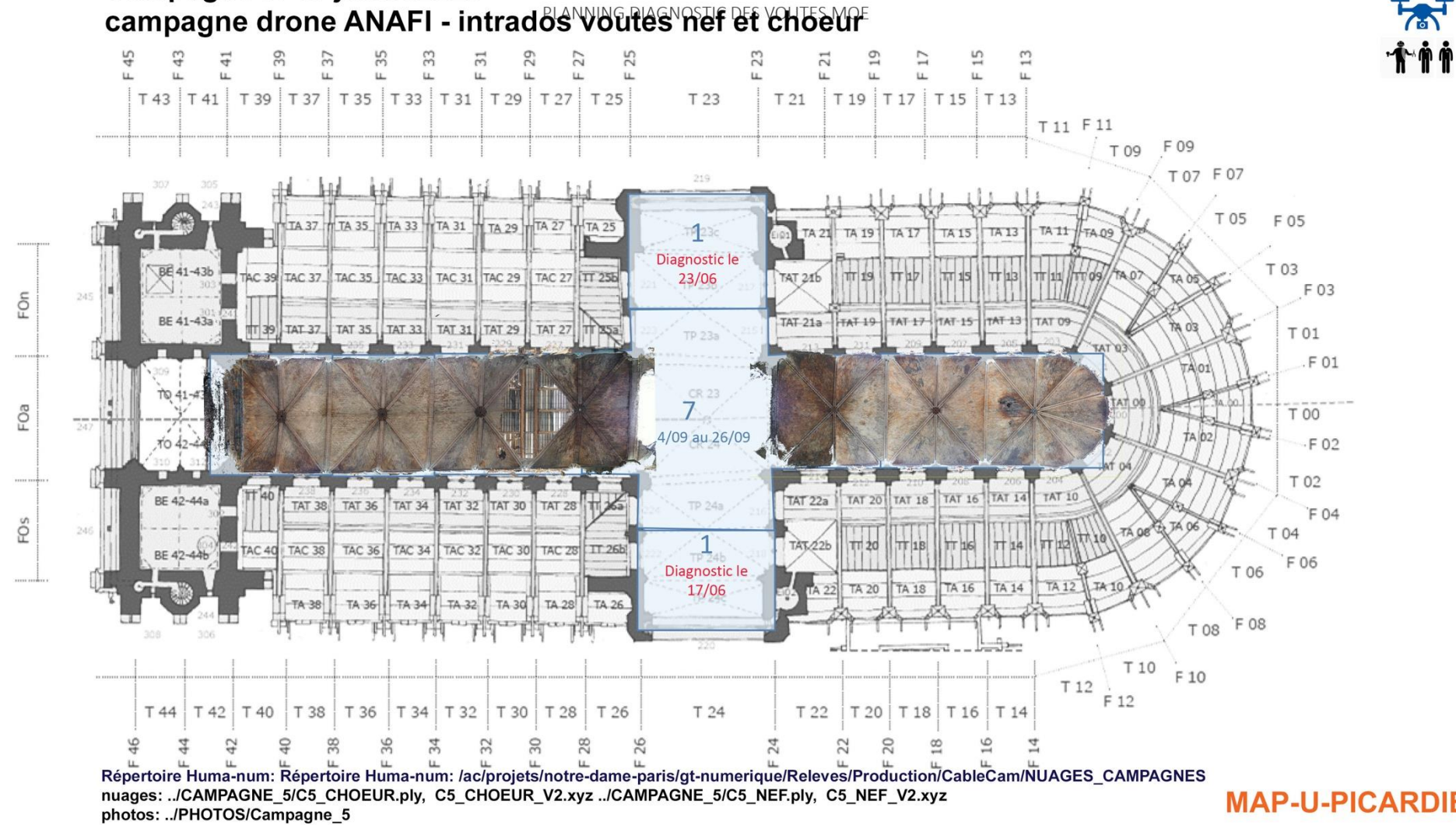
Résumé des campagnes effectuées



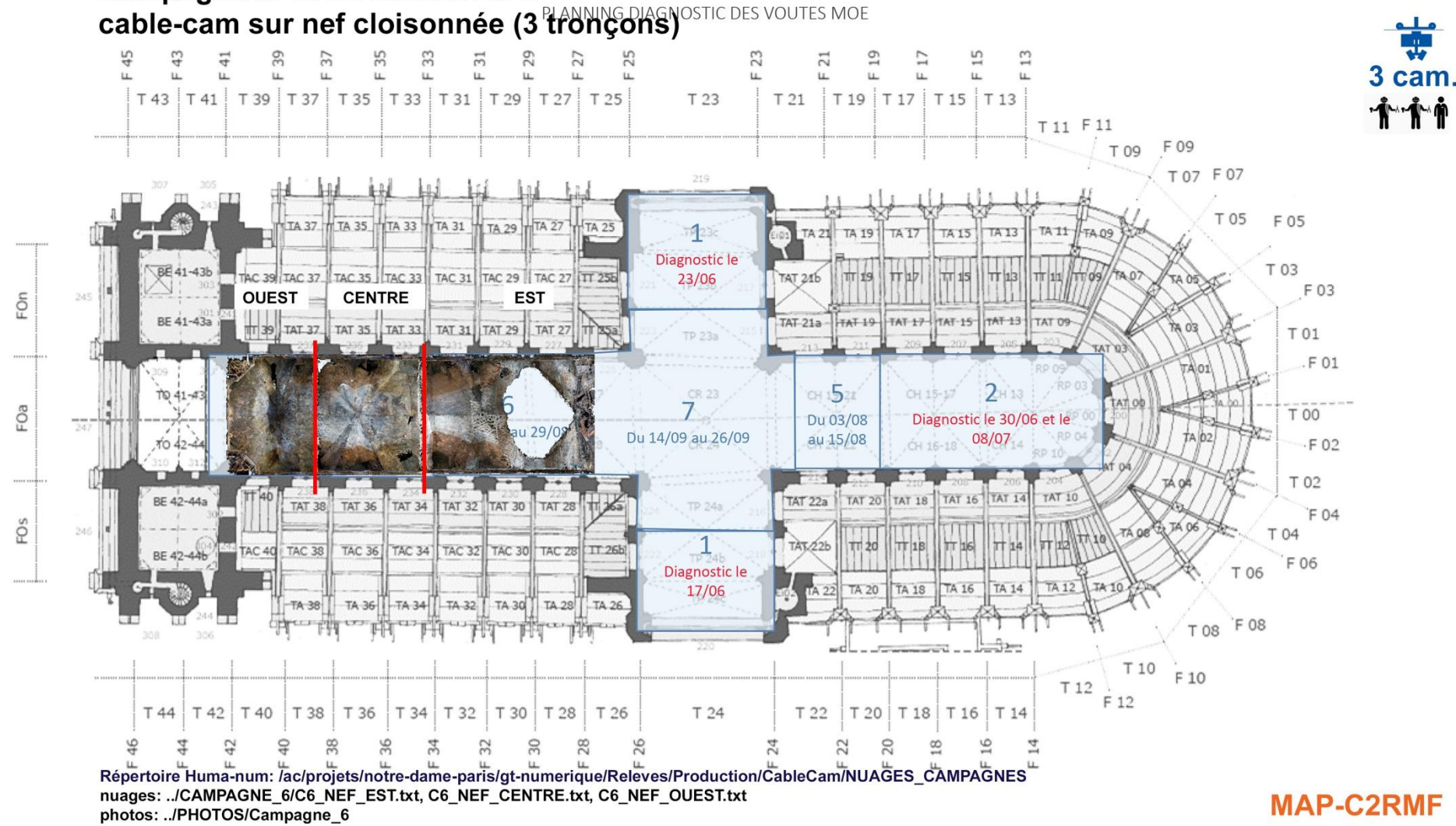
Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Résumé des campagnes effectuées

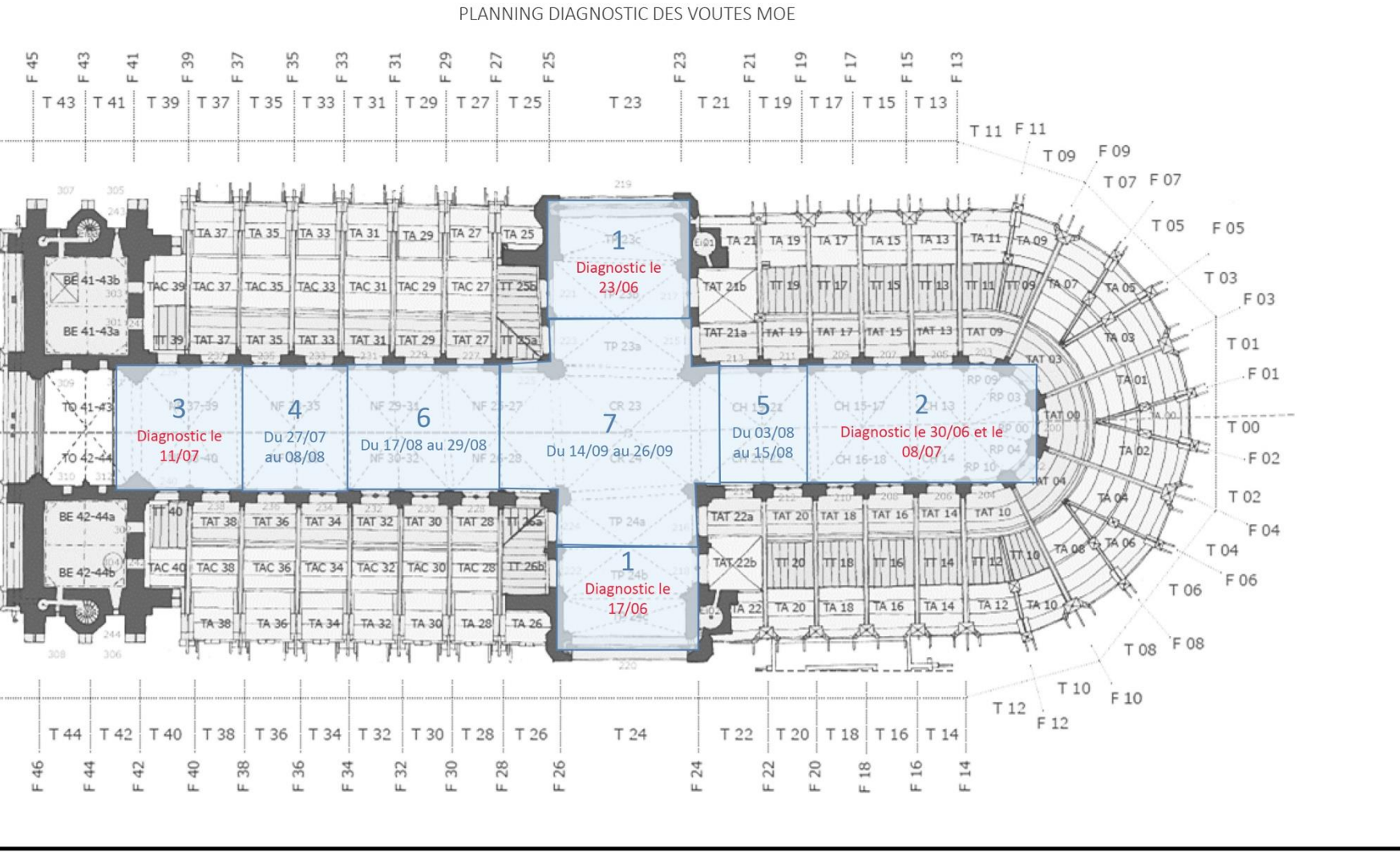
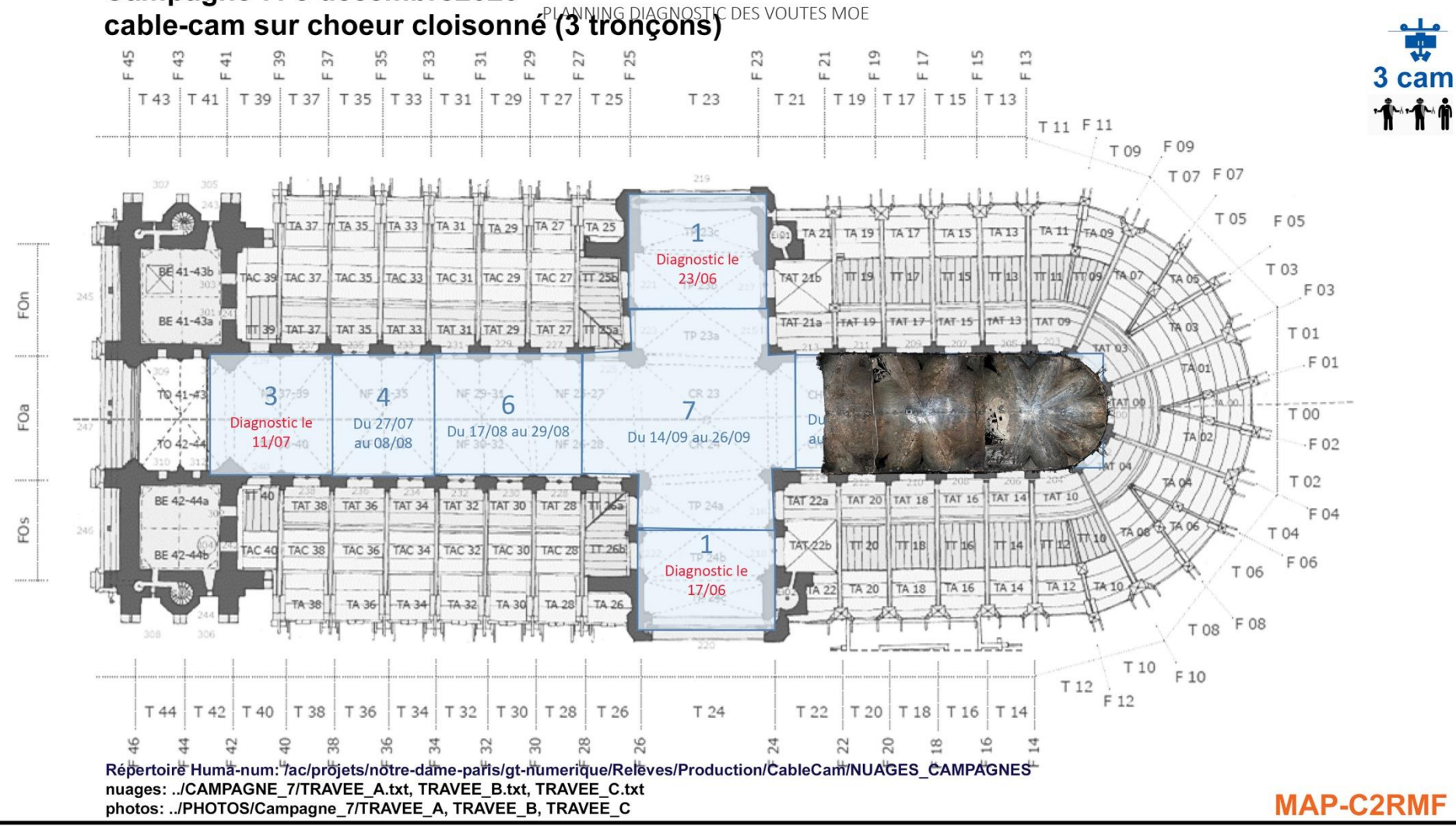
Campagne 5: 17 juillet 2020
campagne drone ANAFI - intrados voûtes nef et chœur



Campagne 6: 16 novembre 2020
cable-cam sur nef cloisonnée (3 tronçons)

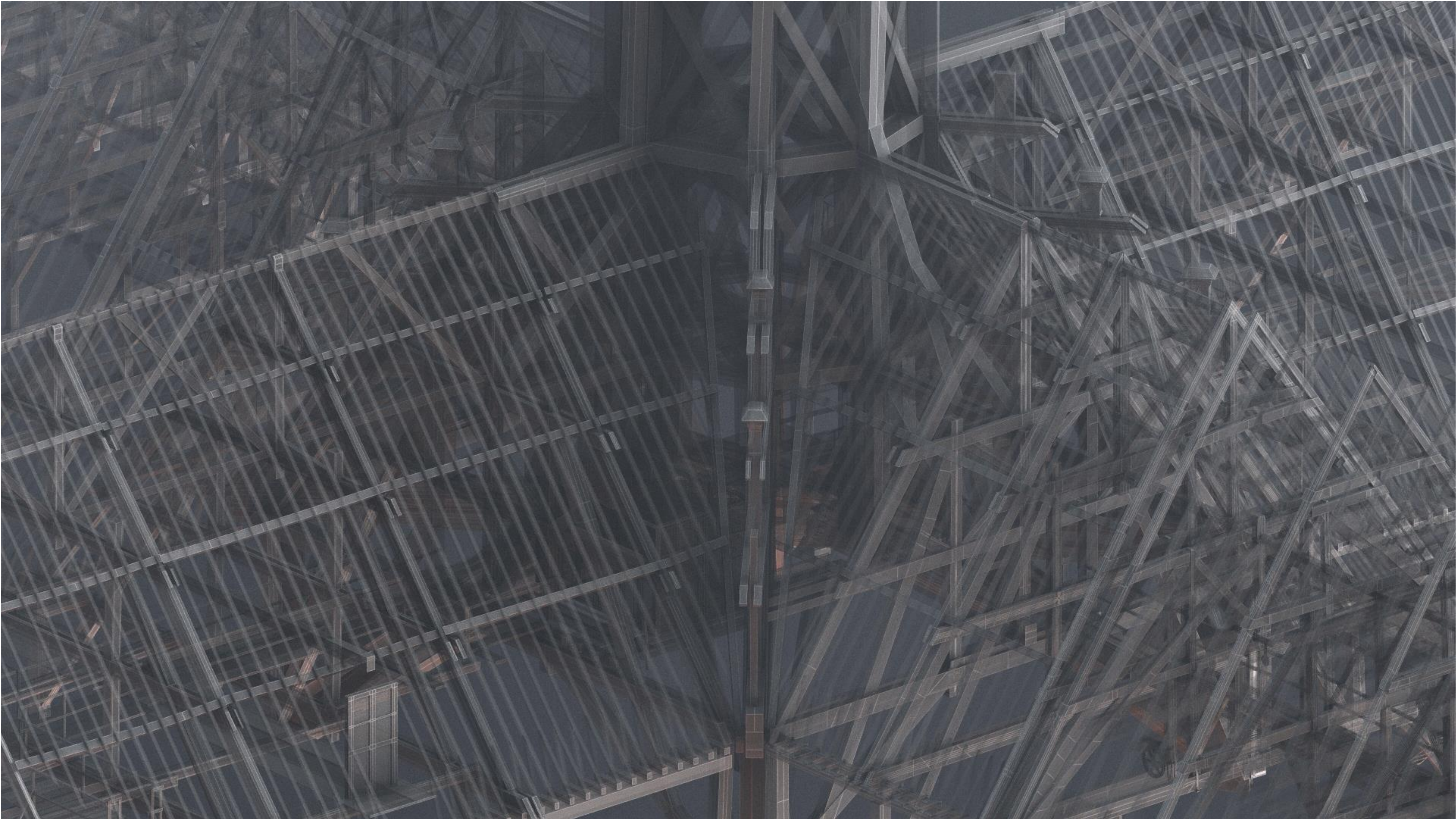


Campagne 7: 8 décembre2020
cable-cam sur chœur cloisonné (3 tronçons)



Restitution numérique de la charpente

Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquot



Restitution numérique de la charpente

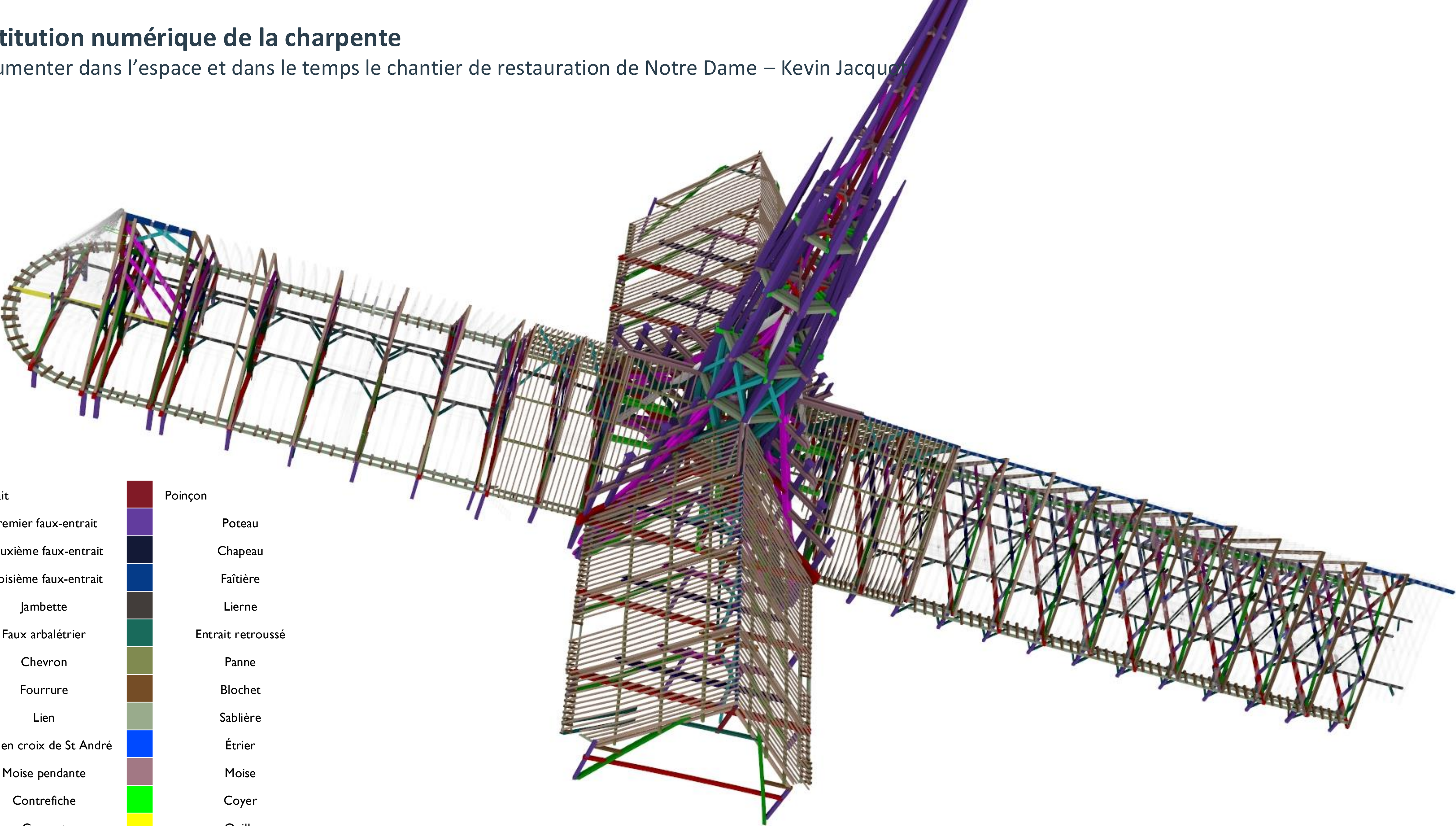
Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquot



Restitution numérique de la charpente

Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquen

	Entrait		Poinçon
	Premier faux-entrait		Poteau
	Deuxième faux-entrait		Chapeau
	Troisième faux-entrait		Faîtière
	Jambette		Lierne
	Faux arbalétrier		Entrait retroussé
	Chevron		Panne
	Fourrure		Blochet
	Lien		Sablière
	Lien en croix de St André		Étrier
	Moise pendante		Moise
	Contrefiche		Coyer
	Gousset		Quille
	Aiguille		Arbalétrier



Restitution numérique de la charpente

Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquot



Bois du XIIe siècle réemployé au XIIIe siècle

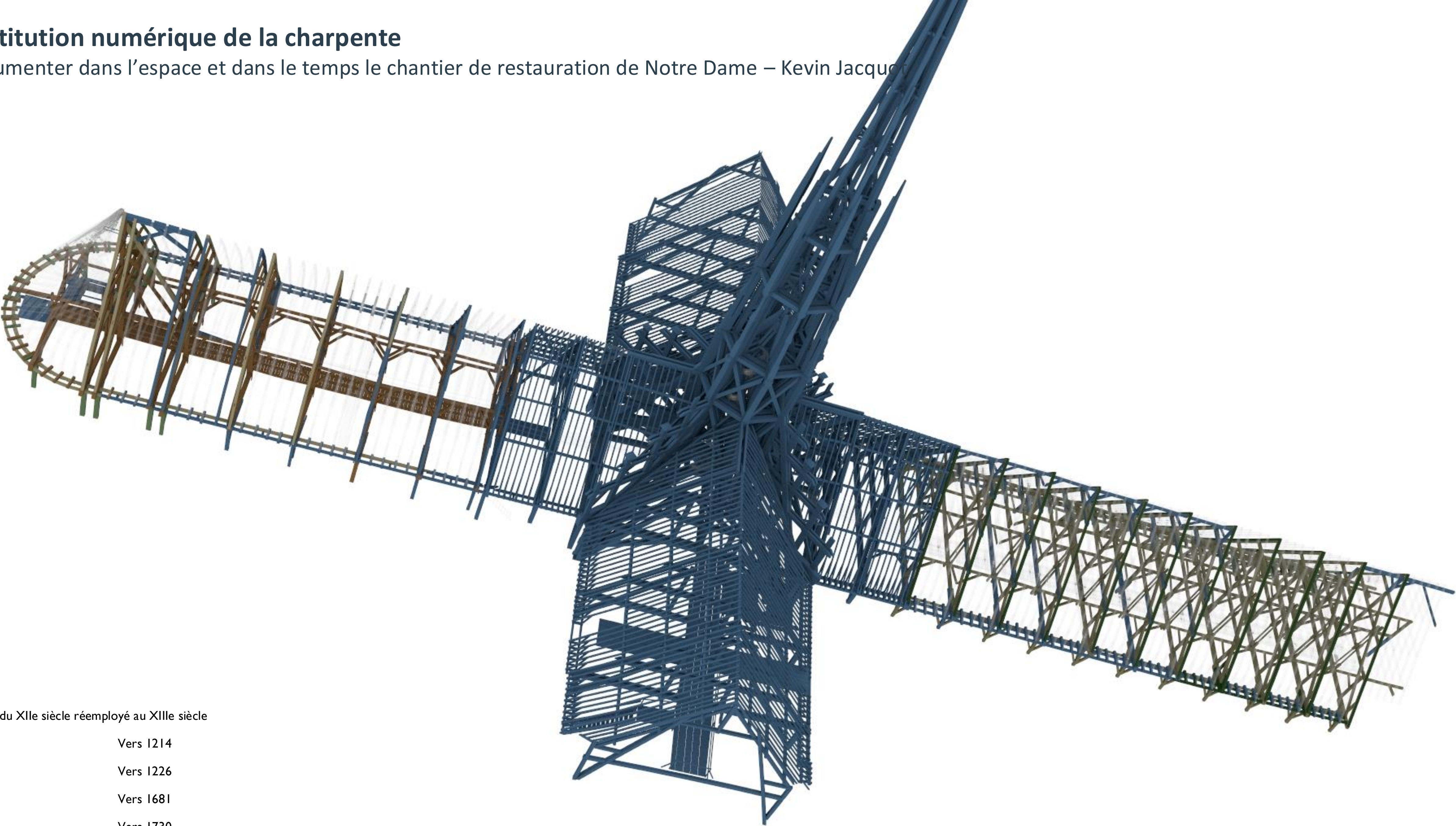
Vers 1214

Vers 1226

Vers 1681

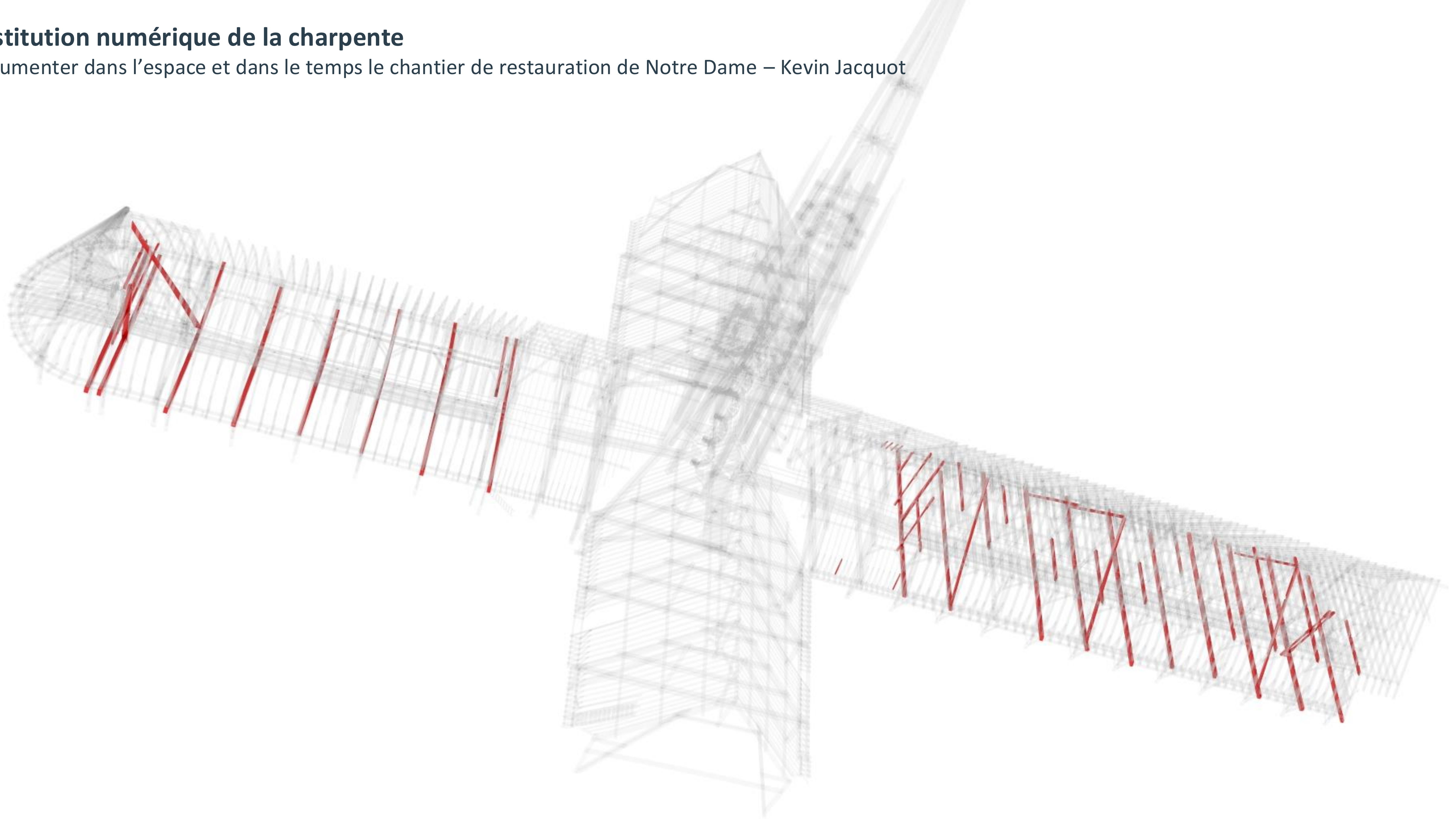
Vers 1730

Entre 1845 et 1864



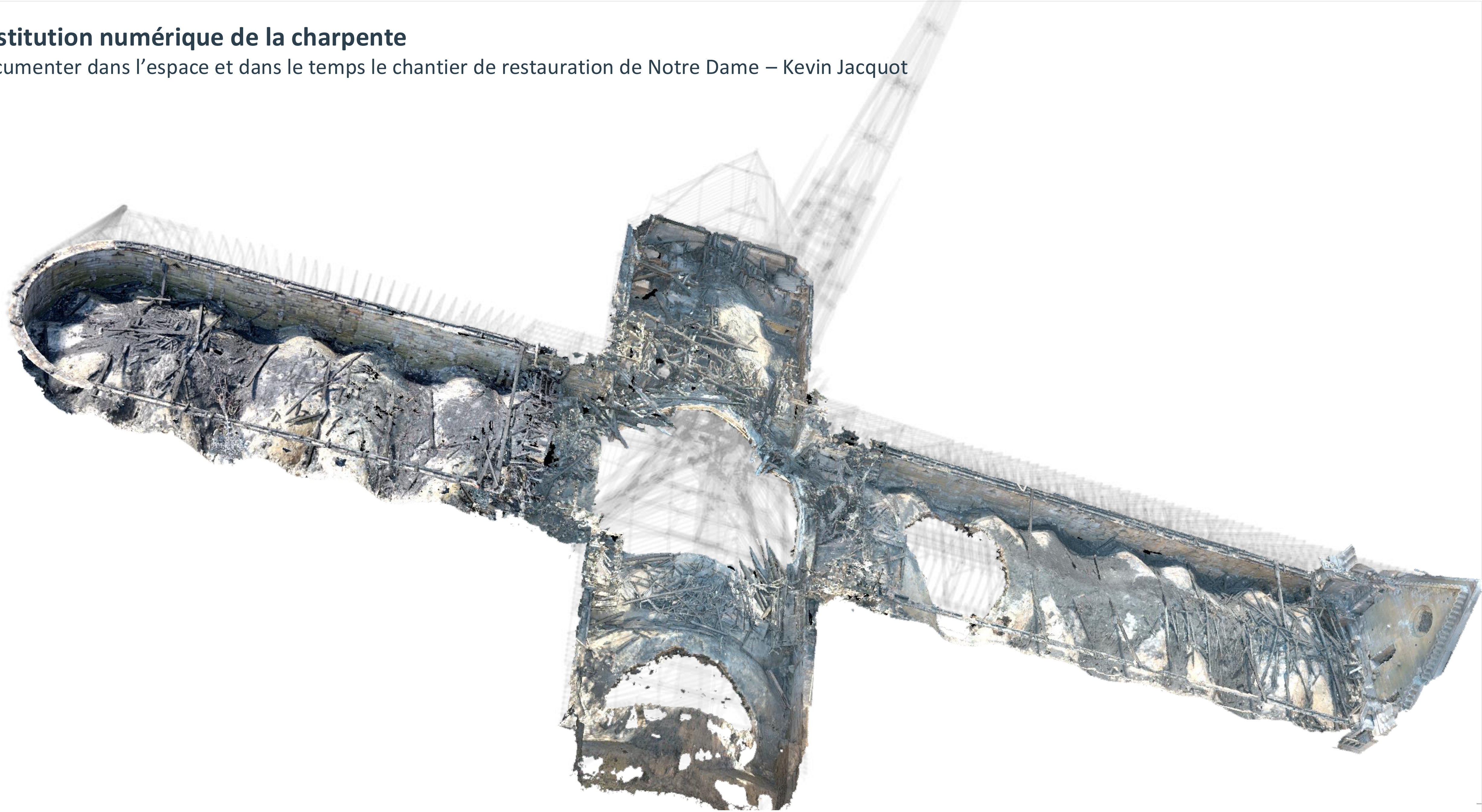
Restitution numérique de la charpente

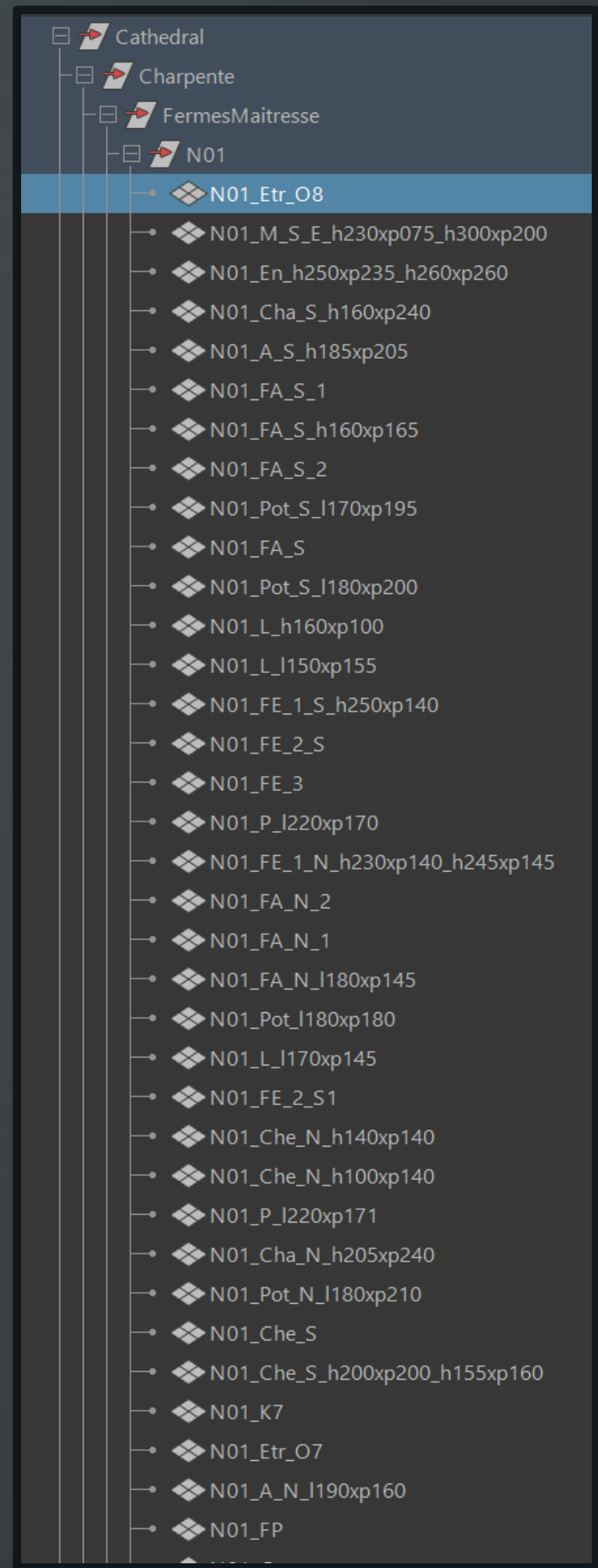
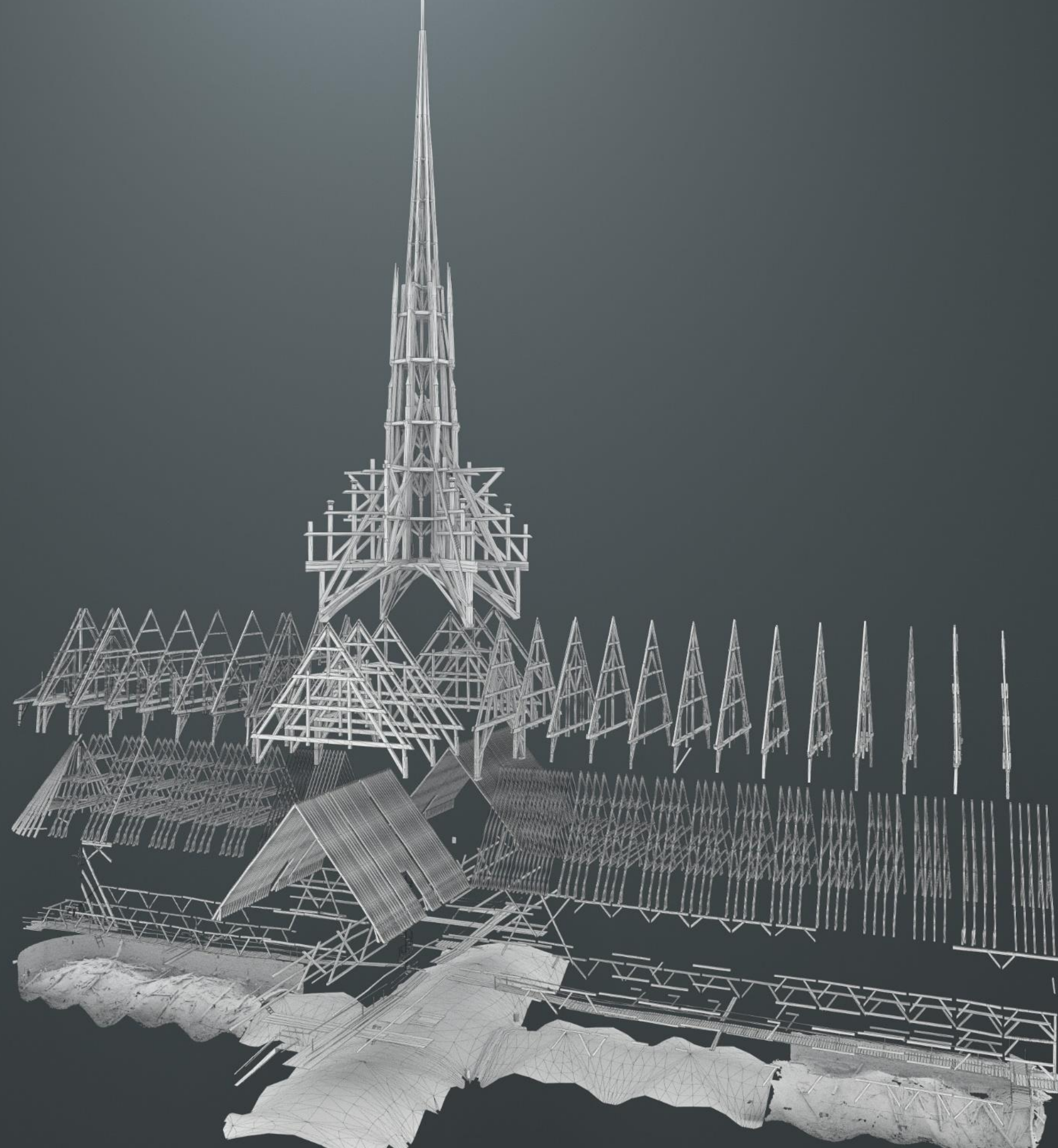
Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquot



Restitution numérique de la charpente

Documenter dans l'espace et dans le temps le chantier de restauration de Notre Dame – Kevin Jacquot





Le relevé photogrammétrique des voûtes de NDDP

Résumé des campagnes effectuées



Du relevé des voûtes à la restitution des charpentes, outils et méthodes au service de la recherche. Renato Saleri, URM ENSA Lyon MC MAP-Aria, gt num.

Une cathédrale de données numériques et connaissances pluridisciplinaires
19 – 21 juin 2024, Campus CNRS Joseph Aiguier, Marseille



European
Research
Council