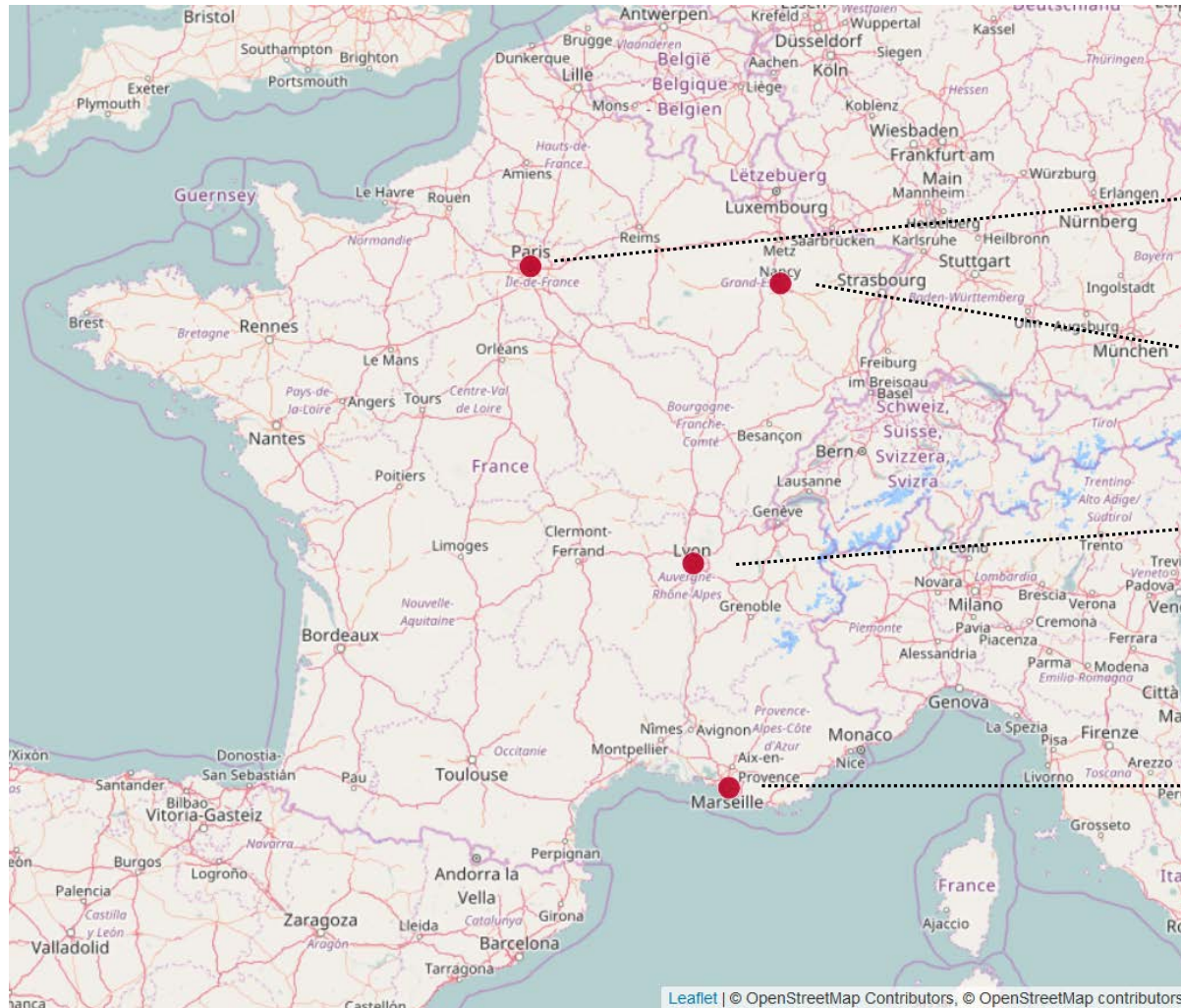


De l'indice à la restitution architecturale: retour d'expérience sur le projet PAVAGE (Pont d'Avignon) et quelques réflexions pratiques (et critiques).

UMR 3495 CNRS / MCC MAP
> Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine

CNRS Centre National de la Recherche Scientifique
MCC Ministère de la Culture et de la Communication

De l'indice à la restitution architecturale: retour d'expérience sur le projet PAVAGE (Pont d'Avignon) et quelques réflexions pratiques (et critiques).



> UMR MAP: Cinq équipes

MAAC(Paris)

> Programme scientifique en deux axes

CRAI (Nancy)

> Modèles et méthodes d'analyse du patrimoine architectural et culturel

ARIA (Lyon)

Modèles et environnements numériques pour la conception en architecture, urbanisme et paysage <

CICRP (Marseille)

GAMSOU (Marseille)

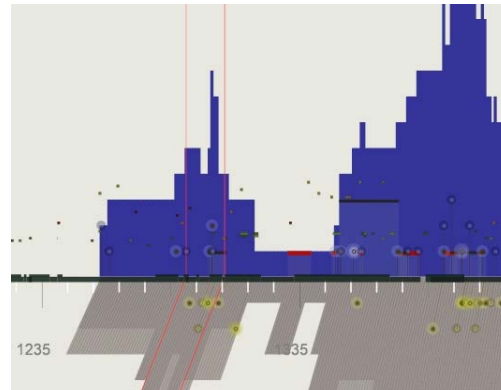
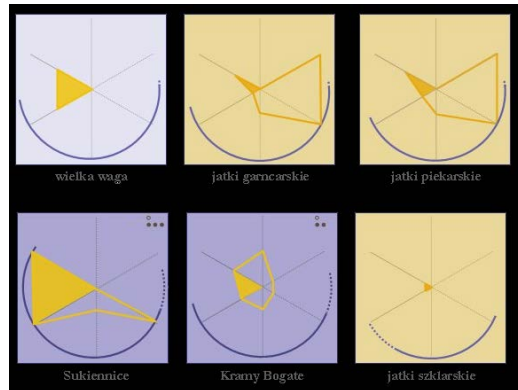
De l'indice à la restitution architecturale: retour d'expérience sur le projet PAVAGE (Pont d'Avignon) et quelques réflexions pratiques (et critiques).

> Composante « patrimoine »



Relevé, restitution géométrique et caractérisation sémantique des formes architecturales

> base: indices « matériels », analyse centrée sur un objet particulier



Analyse, structuration et visualisation d'informations et de connaissance

> base: indices « indirects », analyse centrée sur le croisement de données

De l'indice à la restitution architecturale: retour d'expérience sur le projet PAVAGE (Pont d'Avignon) et quelques réflexions pratiques (et critiques).

> **La notion de restitution, souvent présente dans nos travaux**

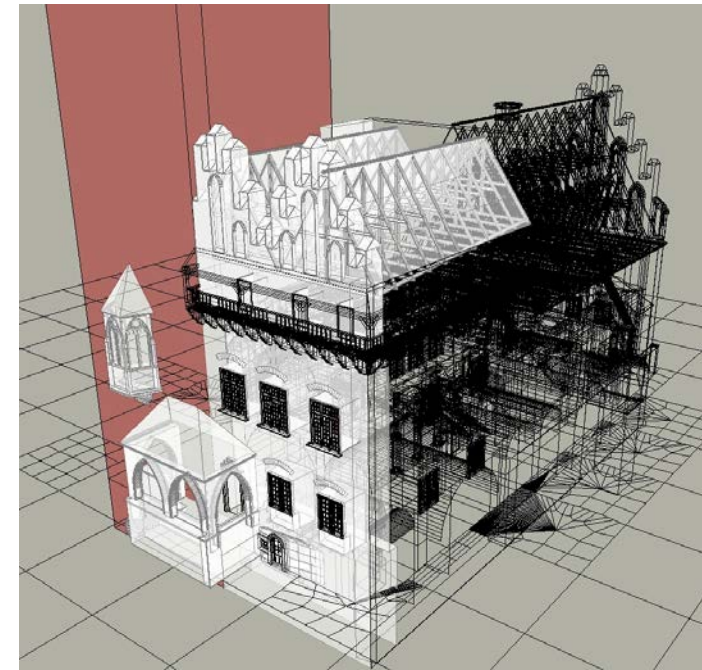
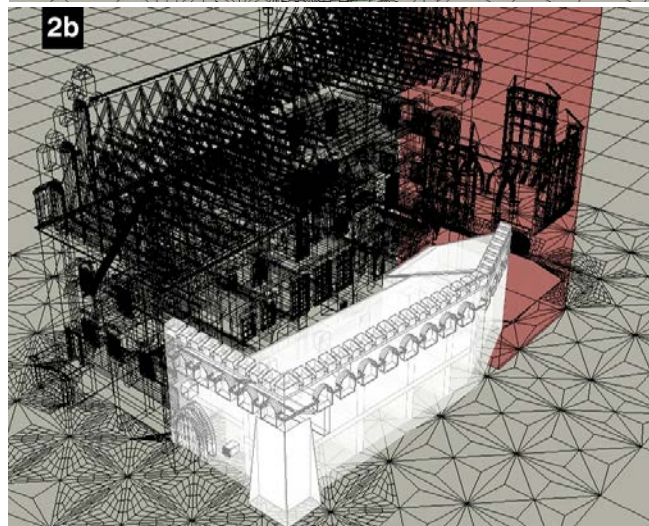
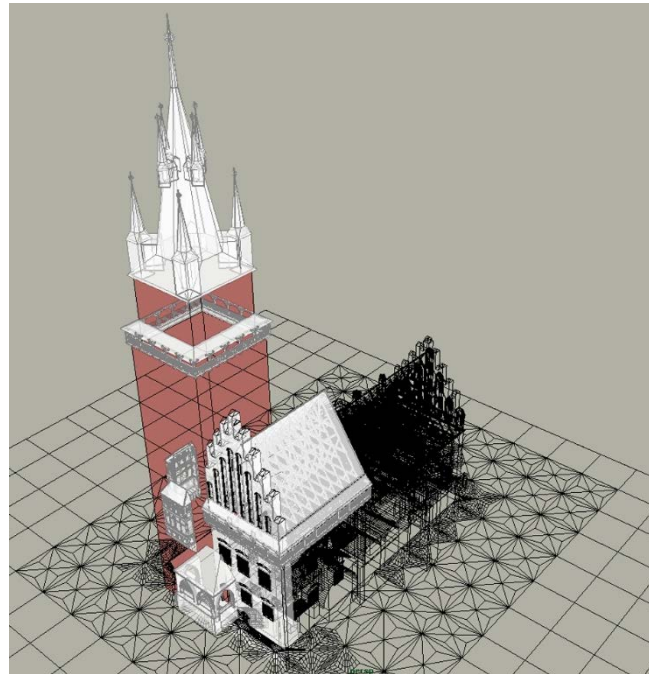
> *positionnement hybride entre récit et fiction d'une part, interprétation et analyse d'autre part*



mérite d'être examinée à la lumière notamment des termes posés dans le programme de la journée:

La restitution cherche-t-elle à recréer « authentiquement » le passé ou est-elle une création ?

3 exemples de questionnements



Ch.Radi, J.Y.Blaise, I.Dudek, Reconstruction architecturale de l'ancien l'hôtel de ville à Cracovie, projet ARKIW, 2000

- certain / existant
- incertain mais partiellement documenté
- hypothétique

Une convention graphique:
distinguer visuellement le
« connu » (existant) de
« l' hypothétique » (matérialisation
visuelle d'une des hypothèses de
restitution de l'ancien hôtel de ville
de Cracovie)

https://pl.wikipedia.org/wiki/Wie%C5%BCa_ratuszowa_w_Krakowie



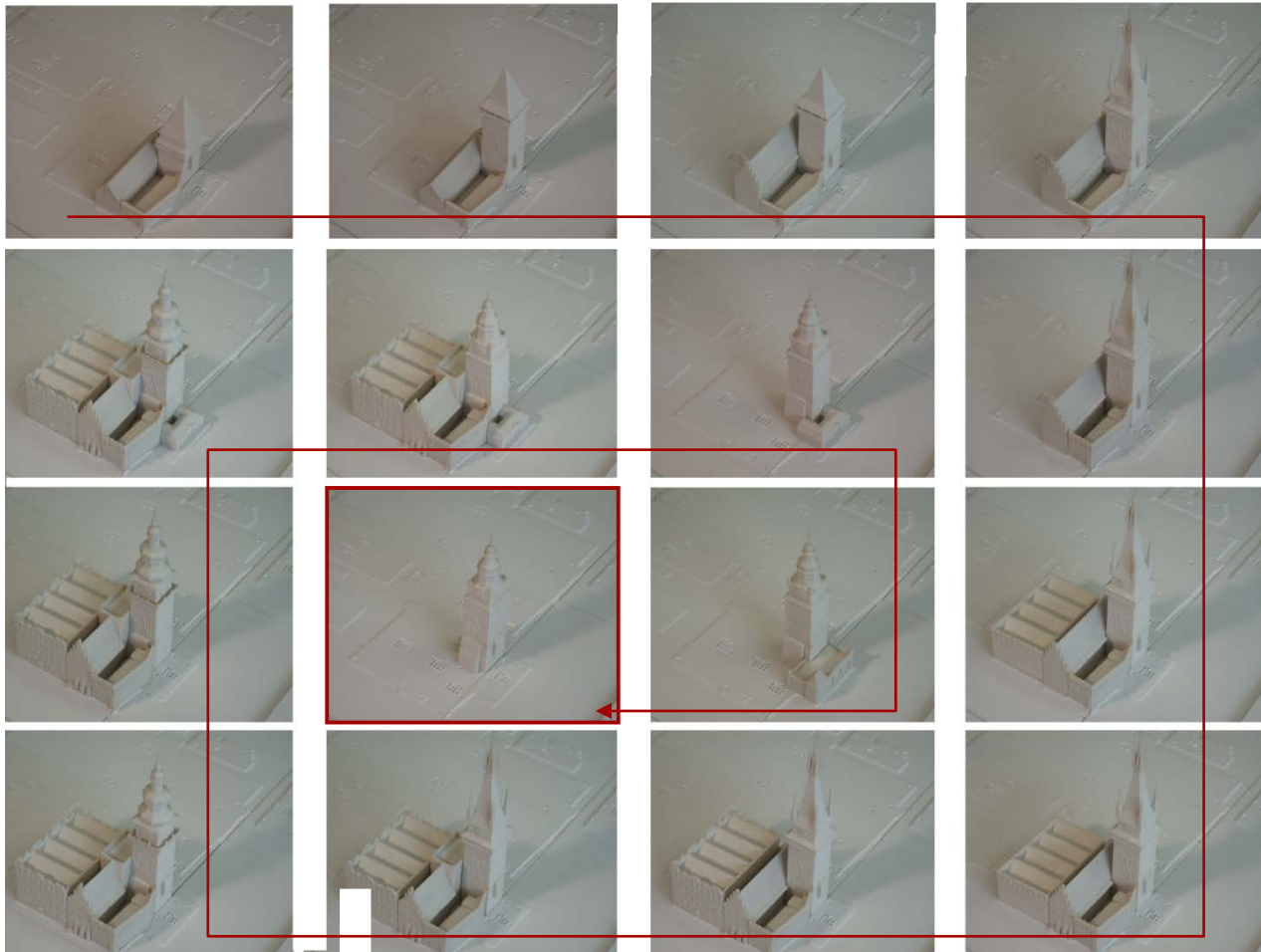
https://pl.wikipedia.org/wiki/Wie%C5%BCa_ratuszowa_w_Krakowie



Y compris dans une déclinaison
« réaliste » du modèle

Une convention graphique:
distinguer visuellement le
« connu » (existant) de
« l'hypothétique » (matérialisation
visuelle d'une des hypothèses de
restitution de l'ancien hôtel de ville
de Cracovie)

Ch.Radi, J.Y.Blaise, I.Dudek, Reconstruction architecturale de l'ancien l'hôtel de ville à Cracovie, projet ARKIW, 2000



Restitution des évolutions
morphologiques de l'ancien hôtel
de ville de Cracovie

Un « langage » graphique (tactile, volumétrique)
pour traduire la réalité de ce que nous
manipulons, des informations incomplètes,
interprétées, pour échapper au réalisme visuel
tout en matérialisant un état de connaissance

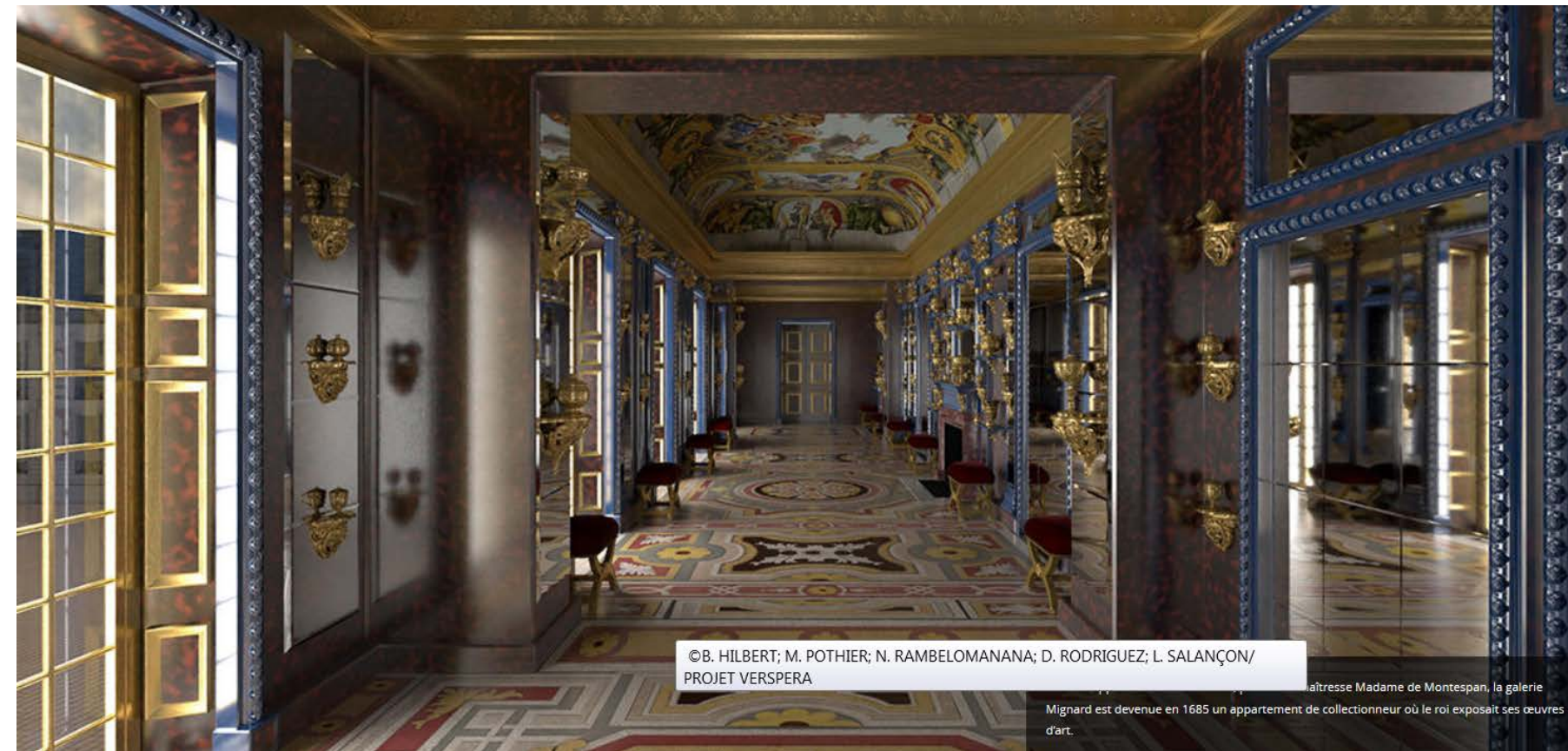
J.Y.Blaise, I.Dudek, Tactichronie - Dispositif ludo-pédagogique visant à
favoriser la compréhension des transformations de l'espace bâti au cours du
temps au travers d'un jeu de formes alternatives différenciables au toucher.
(brevet français FR 09 557 26 2011)



Restitution « virtuelle » de
l'ameublement du petit Trianon à
partir de données métriques
relevées (lieu, mobilier)

Une configuration spatiale
« possible » proposée à partir
de données observées

N.Renaudin – Le petit Trianon -
http://www.map.cnrs.fr/?portfolio_page=pavage-3-3-3



©B. HILBERT; M. POTHIER; N. RAMBELOMANANA; D. RODRIGUEZ; L. SALANÇON/
PROJET VERSPERA

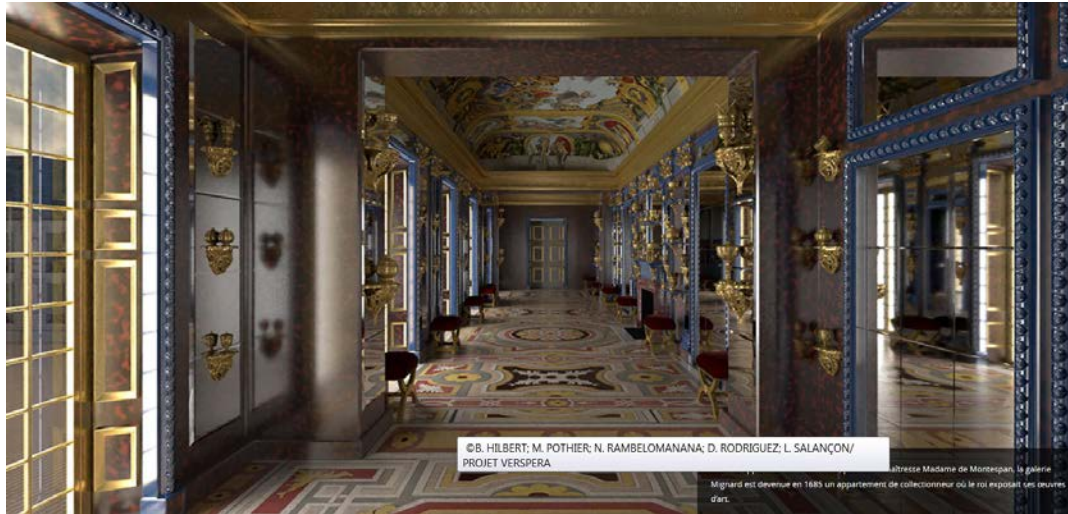
Maîtresse Madame de Montespan, la galerie
Mignard est devenue en 1685 un appartement de collectionneur où le roi exposait ses œuvres
d'art.

Par opposition au récent projet
VERSPERA - modélisation 3d à
partir des plans anciens en 2D du
château de Versailles

« Le logiciel VERSPERA, dont
les algorithmes font appel aux
principes de la morphologie
mathématique, traite ainsi de
manière quasi automatique les
plans, extrayant les empreintes
au sol du bâtiment (murs
principaux, cloisons ou murs
secondaires) permettant d'y
localiser notamment, les
escaliers. »

<https://lejournal.cnrs.fr/articles/versailles-remonte-le-temps>

<http://verspera.hypotheses.org/>



©B. HILBERT; M. POTHIER; N. RAMBELOMANANA; D. RODRIGUEZ; L. SALANÇON/
PROJET VERSPERA

Libretto Madame de Montespan: le galère
Migard est devenue en 1883 un appartement de collectionneur où le roi exposait ses œuvres d'art.

<https://lejournal.cnrs.fr/articles/versailles-remonte-le-temps>

Autrement dit derrière un univers visuel proche, et un même lieu, se cachent des intentions, des processus, des méthodes de travail complètement différents.



N.Renaudin – Le petit Trianon -
http://www.map.cnrs.fr/?portfolio_page=pavage-3-3-3

Et donc un enjeu: associer à un travail de restitution un effort de mise en clarté des choix faits (et pas seulement des choix techniques), des **processus mobilisés**

processus mobilisés : un exemple

Retour d'expérience sur le cas du projet PAVAGE (pont d'Avignon et paysage fluvial)

Un projet porté au MAP par Michel Berthelot

A.Néroulidis, Chargé de médiation scientifique

Quelques réflexions pratiques [partant du questionnement suivant: la restitution peut-elle être autre chose qu'une création artistique?]

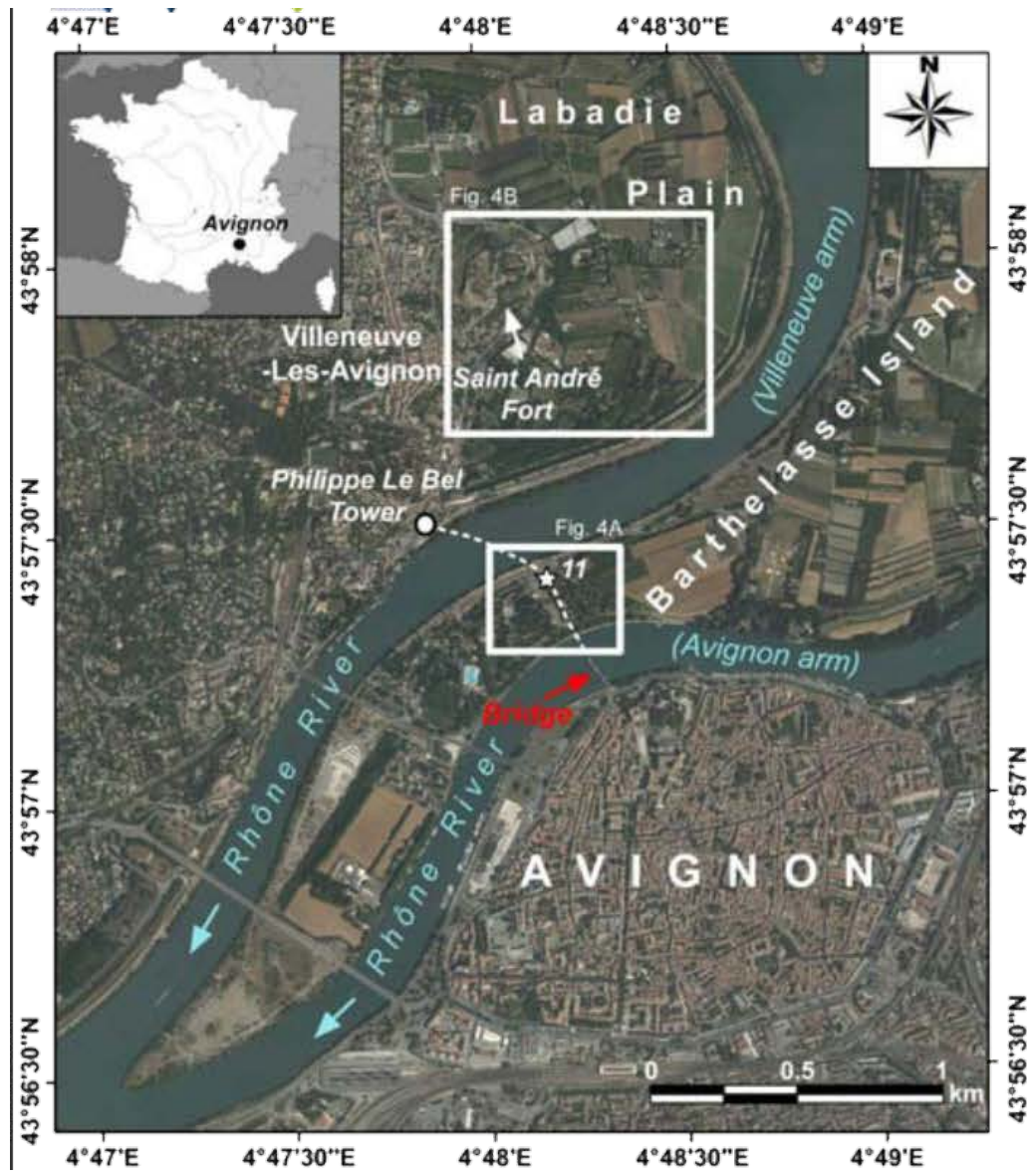
Définition, éléments de caractérisation et d'évaluation, notion de mémorisation des processus

J.Y Blaise, I.Dudek

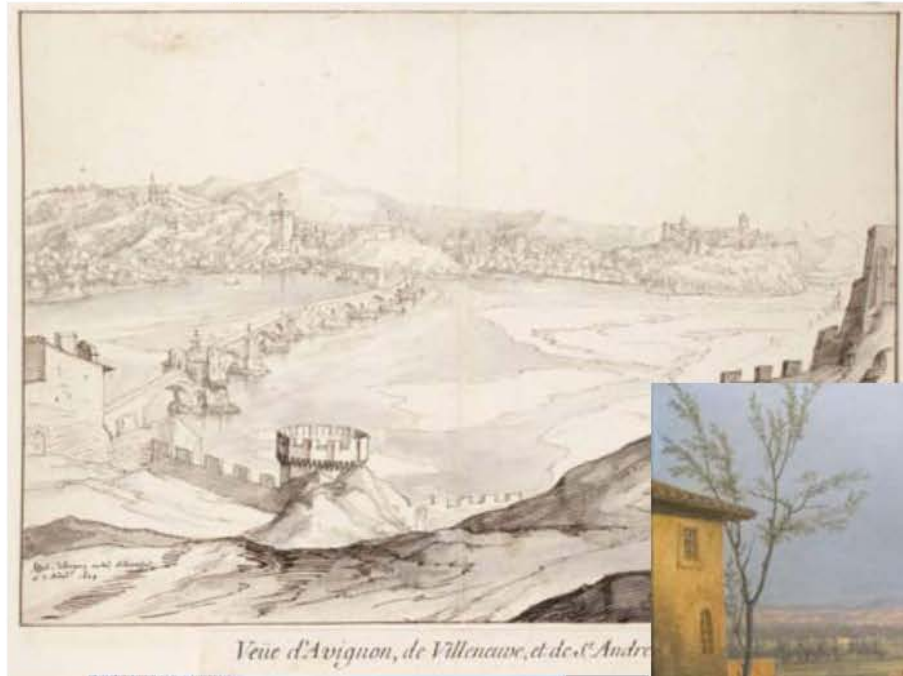
Projet de représentation en 3D du pont d'Avignon

ANR Pavage (2011-2014) : Le pont d'Avignon : archéologie, histoire, géomorphologie, environnement, reconstruction 3D





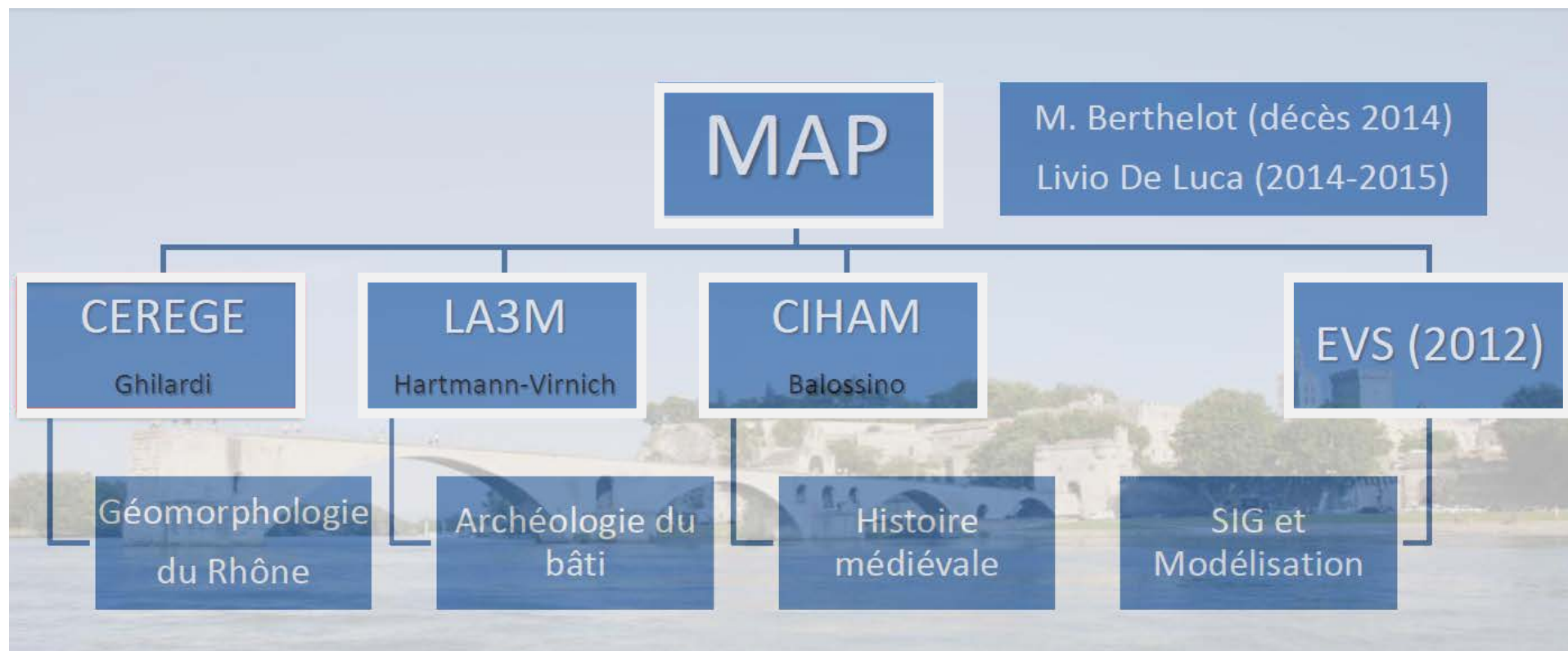
Objectif du projet : mieux comprendre l'histoire du pont et le restituer virtuellement dans son contexte paléofluvial rhodanien

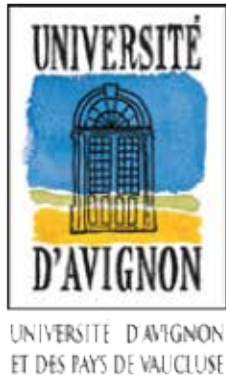


PLAN

1. L'équipe pluridisciplinaire impliquée dans le projet PAVAGE
2. La mission du MAP : du relevé 3D à la modélisation 3D
3. La restitution 3D sous forme de vidéo

Une équipe pluridisciplinaire



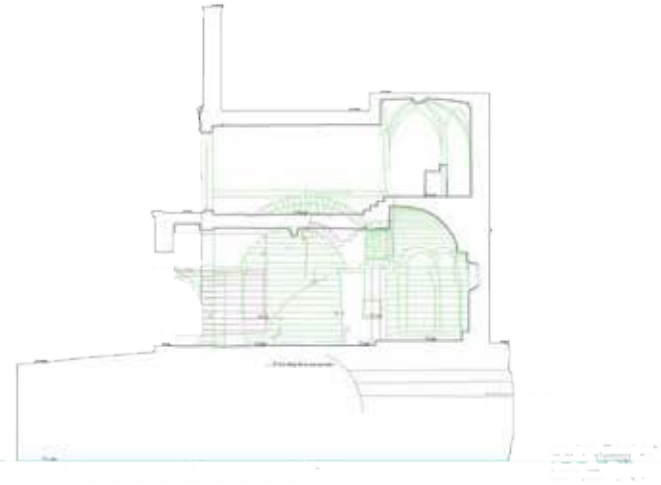


**Etude historique du pont d'Avignon :
analyse documentaire et étude des construction territoriales autour d'Avignon**

**CIHAM
Histoire, Archéologie, Littératures
des mondes chrétiens et musulmans médiévaux
S. Balossino**



UMR 7298 CNRS
Université d'Aix-Marseille



La chapelle et le pont Saint-Bénézet d'Avignon: Les questionnements de l'archéologie du bâti

Andreas Hartmann-Virnich (LA3M UMR 7298)

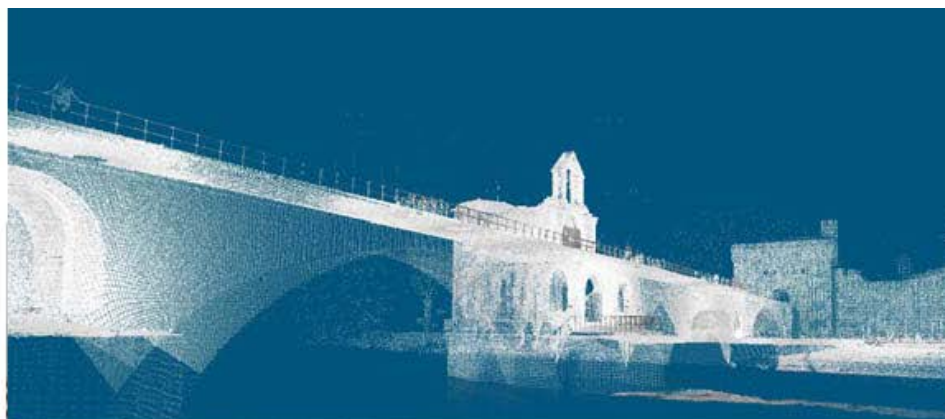
GÉOMORPHOLOGIE DU RHÔNE : CEREGE



Etudes géomorphologique et paléoenvironnementale autour du Pont

CEREGE
Matthieu Ghilardi

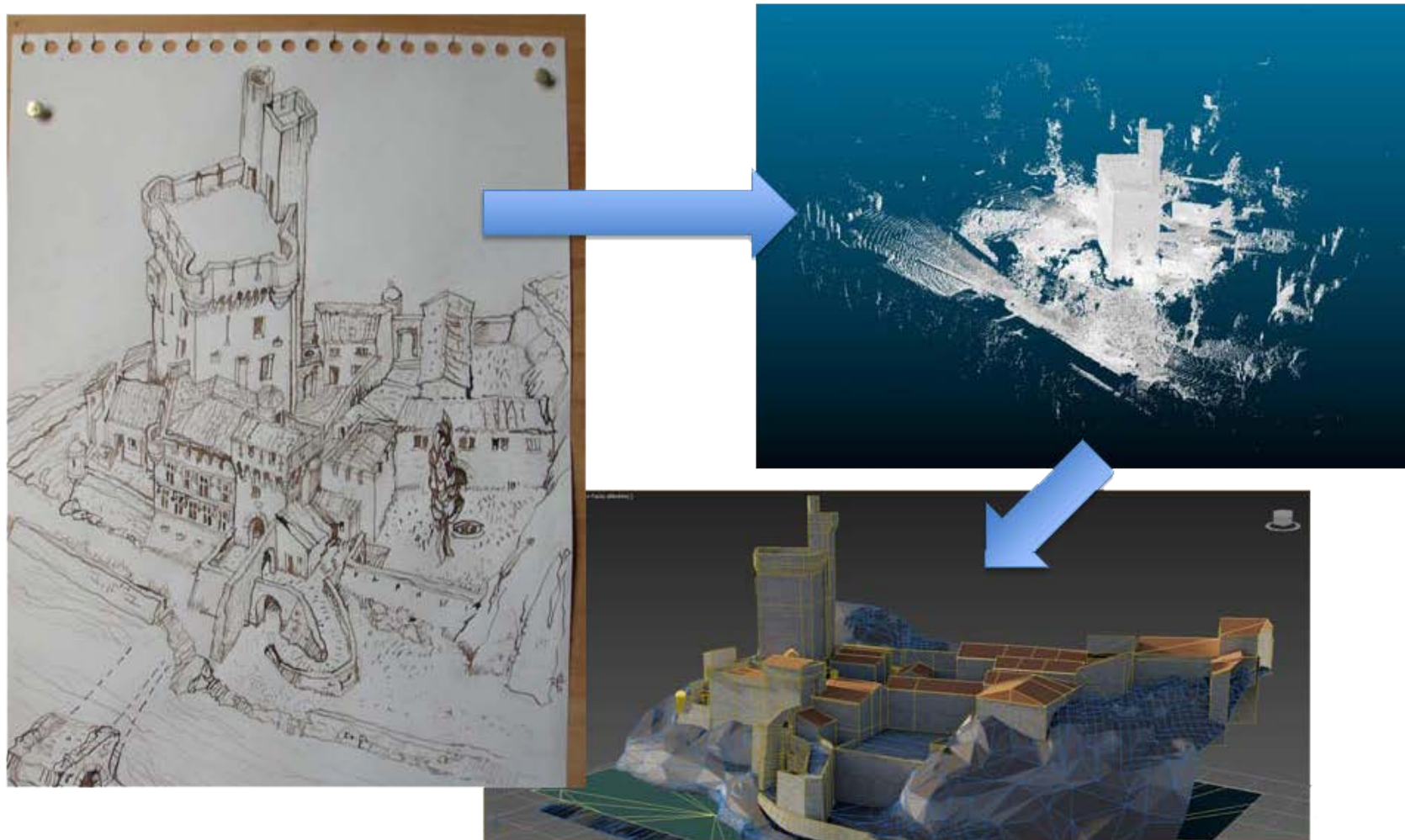
ETUDE ARCHITECTURALE ET RESTITUTION 3D



Etude architecturale et restitution 3D

Michel Berthelot – Livio De Luca

Du travail interprétatif de l'historien/archéologue du bâti à la modélisation 3D



Mise en relation spatiale des composants observés et restitués



Les principaux éléments à relever et modéliser

- Les quatre arches encore en place



- La chapelle Saint-Bénézet



- Le châtelet avignonnais



- La Tour Philippe-le-Bel



Les principaux outils de relevé

- Lasergrammétrie

- Acquiert un grand nombre de coordonnées 3D en peu de temps
- Précision constante
- Pas de couleur



- Résultat: modèles 3D composés de millions de points



- Topographie

- Acquiert peu de points mais avec une grande précision
- Système de coordonnées géo-référencé

- Résultat: ensemble de points 3D géo-référencés permettant de recalibrer différents modèles dans un même référentiel

- Photogrammétrie

- Acquiert un grand nombre d'informations
- Précision dépendante de la qualité des images
- Couleur

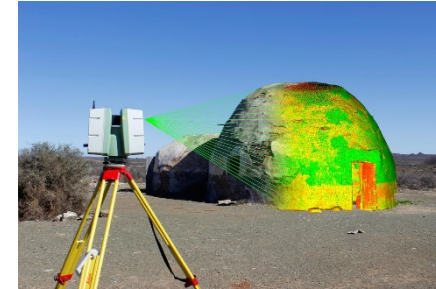


- Résultat: modèles 3D composés de millions de points
Orthophotographies

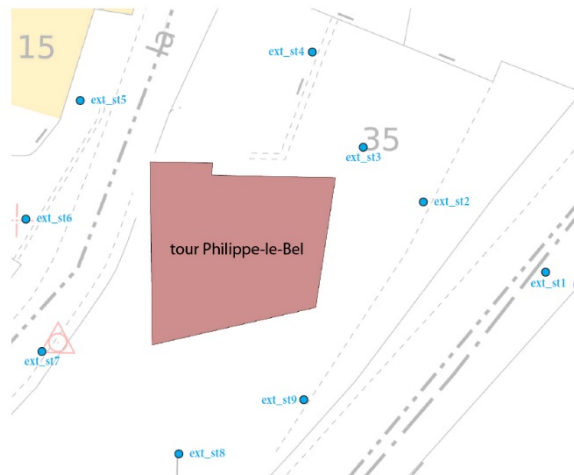


Le relevé par lasergrammétrie

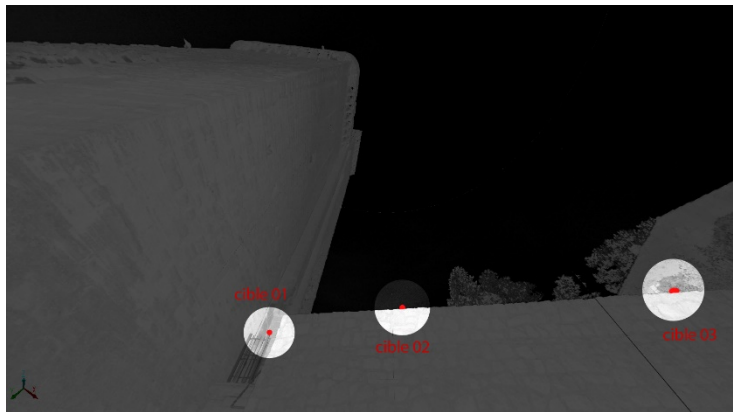
- Capture à 360° de l'environnement
- Plusieurs positions de scan nécessaires pour acquérir un objet dans son ensemble
- Nécessité d'avoir des points de ressemblance entre les différentes stations pour le recalage des données
- Plusieurs millions de points acquis pour chaque station (40 millions)



Exemple de relevé au laser : la tour Philippe-le-Bel



- Etablir un réseau de scans autour du bâtiment
- Placer des cibles entre les différentes stations

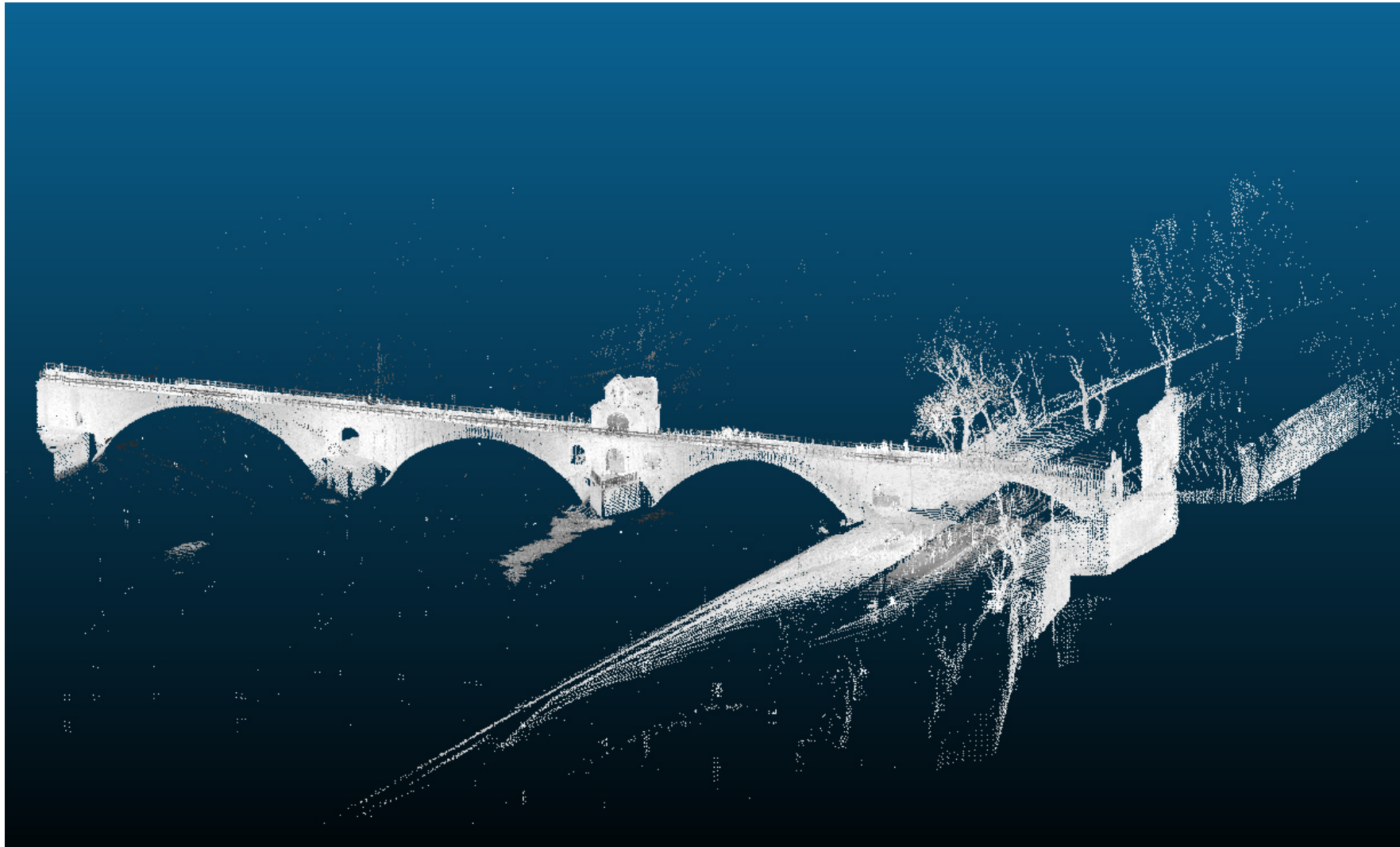


Station 3

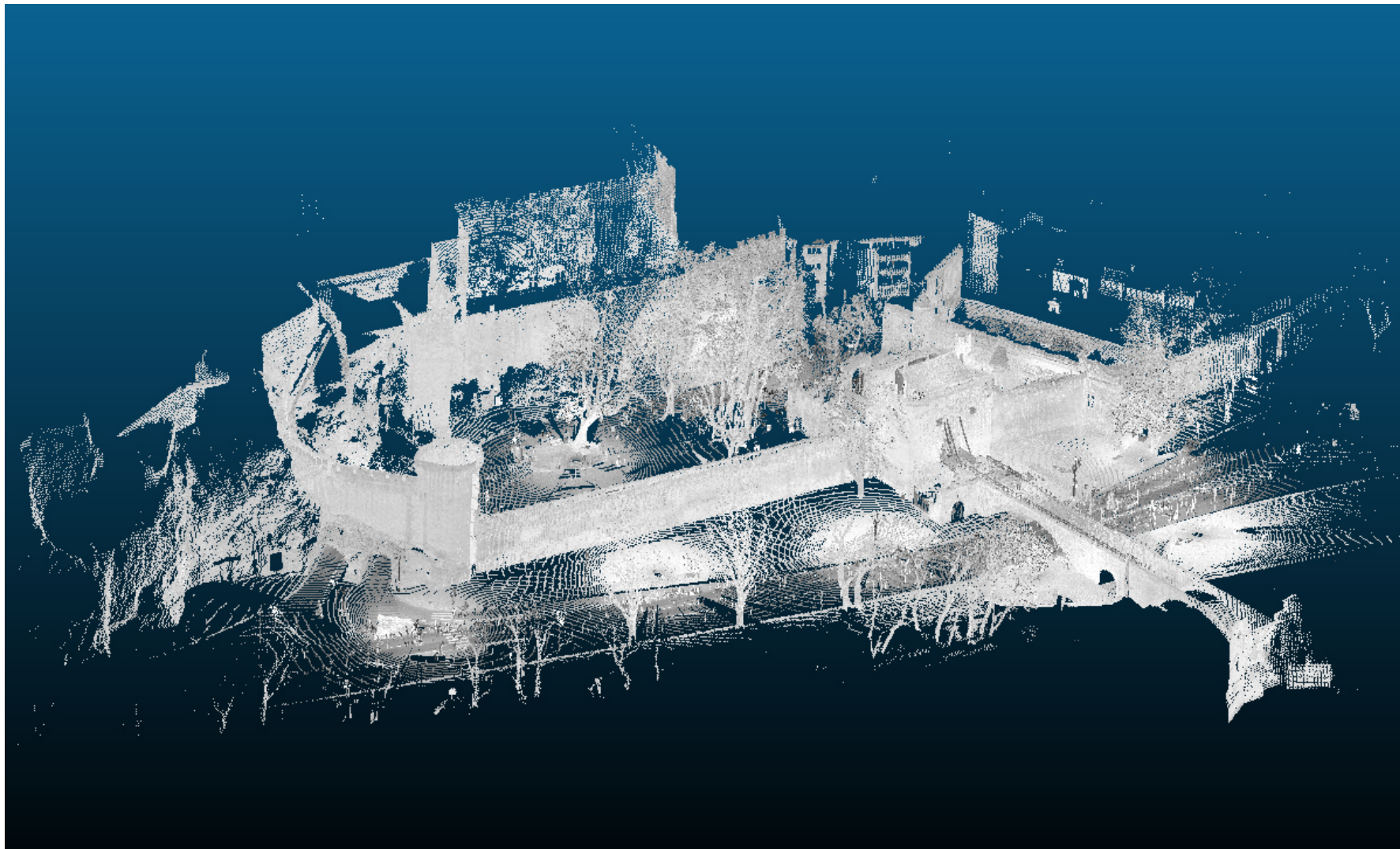


Station 4

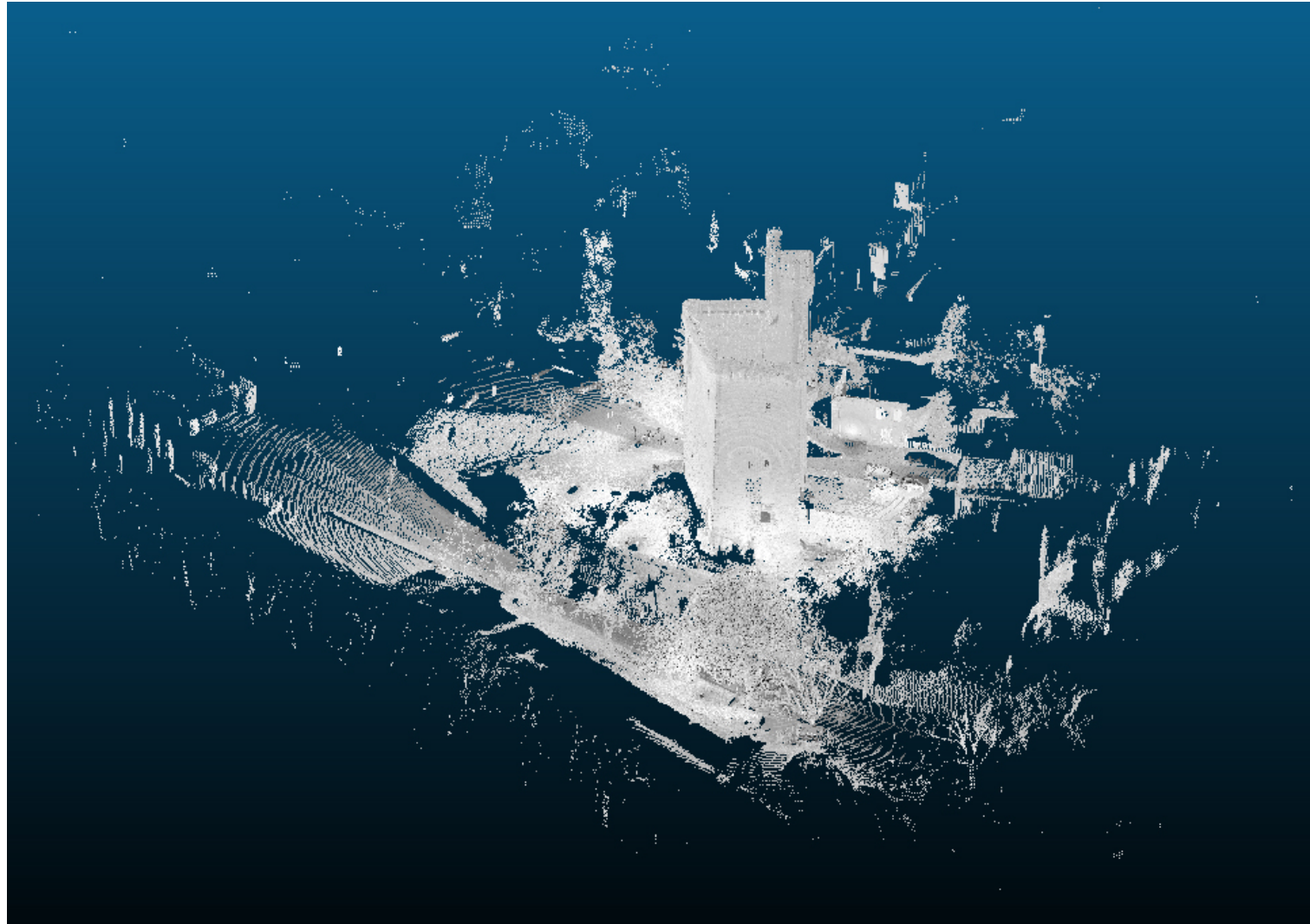
Nuage de points complet du pont d'Avignon et de la chapelle Saint-Bénézet



Nuage de points du châtelet rive gauche



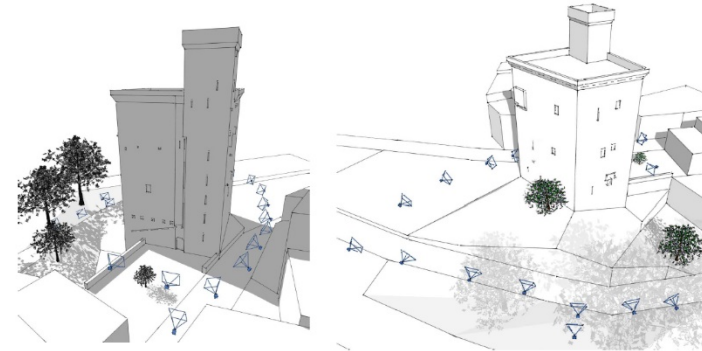
Nuage de points de la tour Philippe-le-Bel



La relevé par photogrammétrie

Photos acquises selon un protocole spécifique :

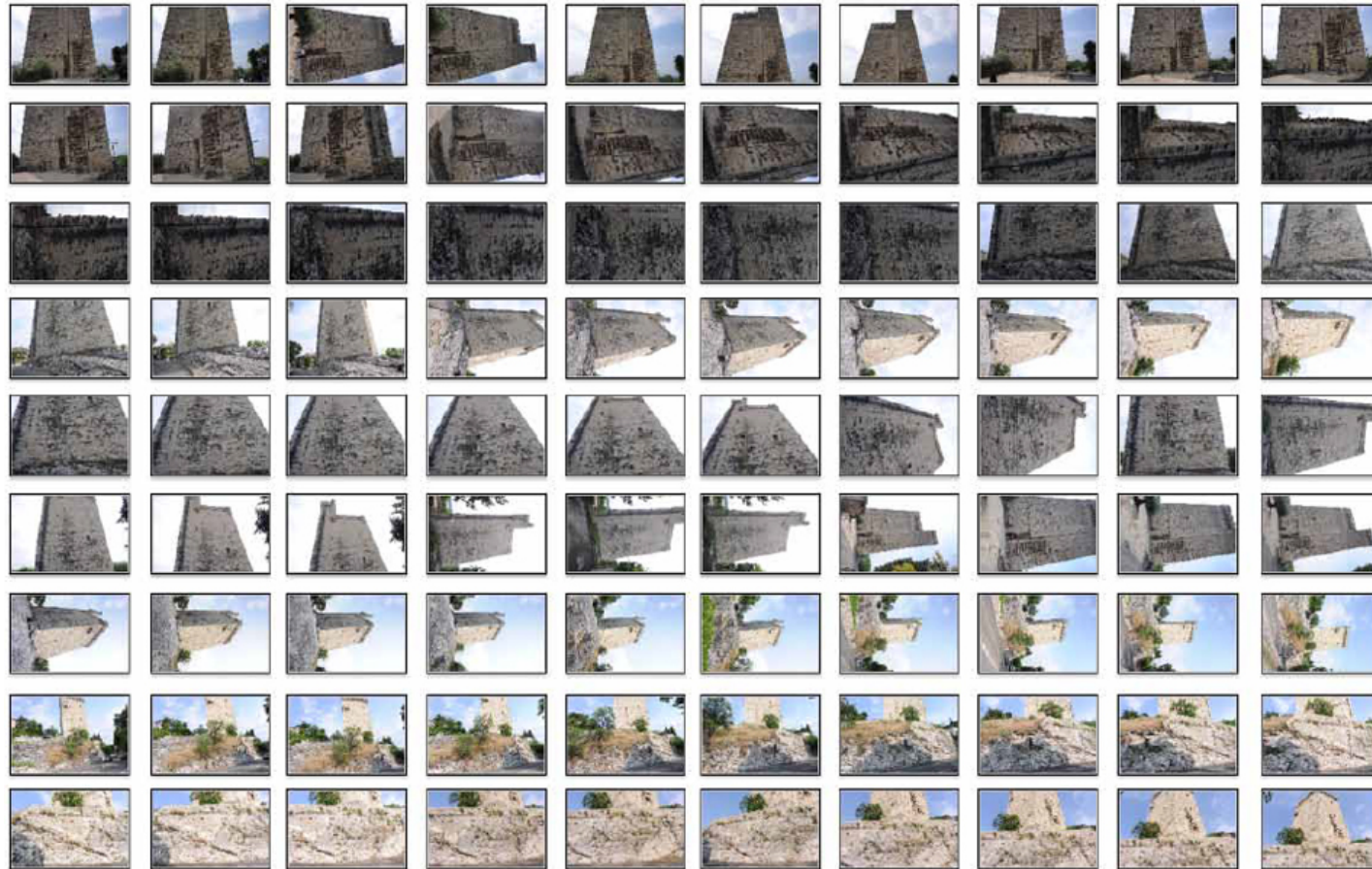
- Prendre un grand nombre de photos d'un même objet en se déplaçant autour



- Recouvrement important entre les images voisines



Acquisition photographique de la Tour Philippe-le-Bel (500 photos)



Jeu de photos de l'extérieur de la Tour Philippe-le-Bel

Acquisition photographique aérienne de la Tour Philippe-le-Bel et de son environnement (80 photos)



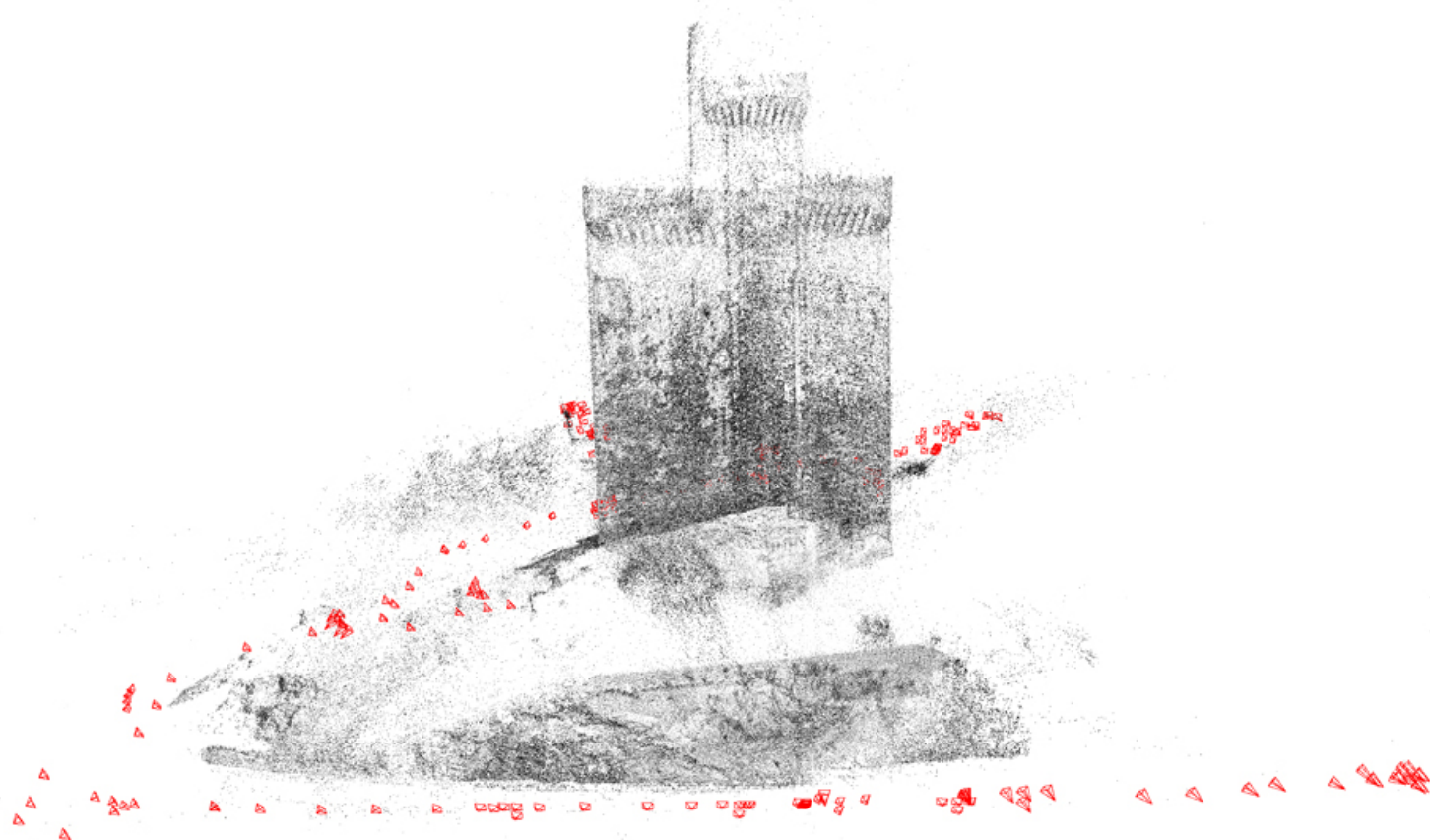
Acquisition photographique du pont d'Avignon et de la chapelle Saint-Bénézet (1000 photos)



Jeu de photos du Pont d'Avignon acquises depuis un bateau

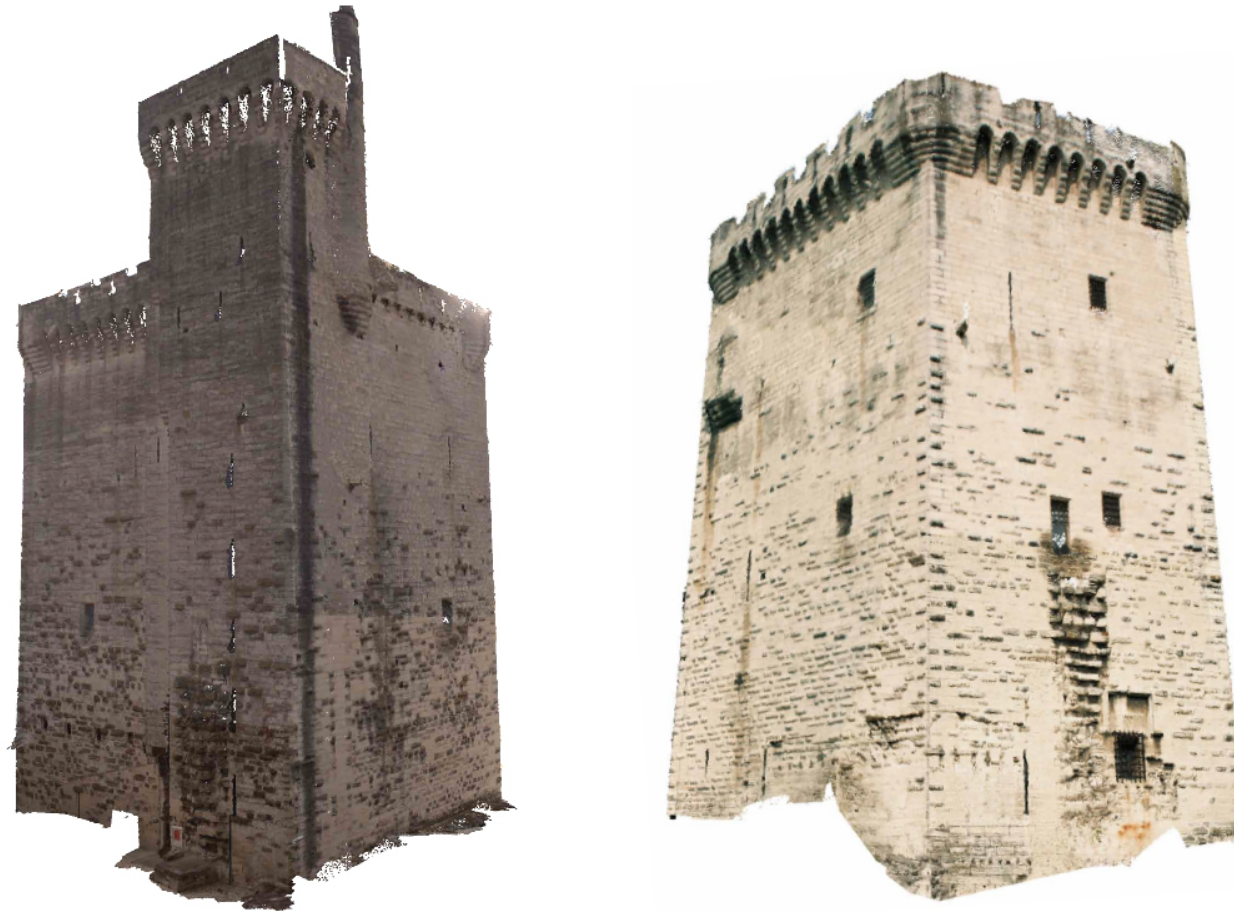
Traitement des images

- Calcul des position et orientation de chaque image par rapport à la scène acquise



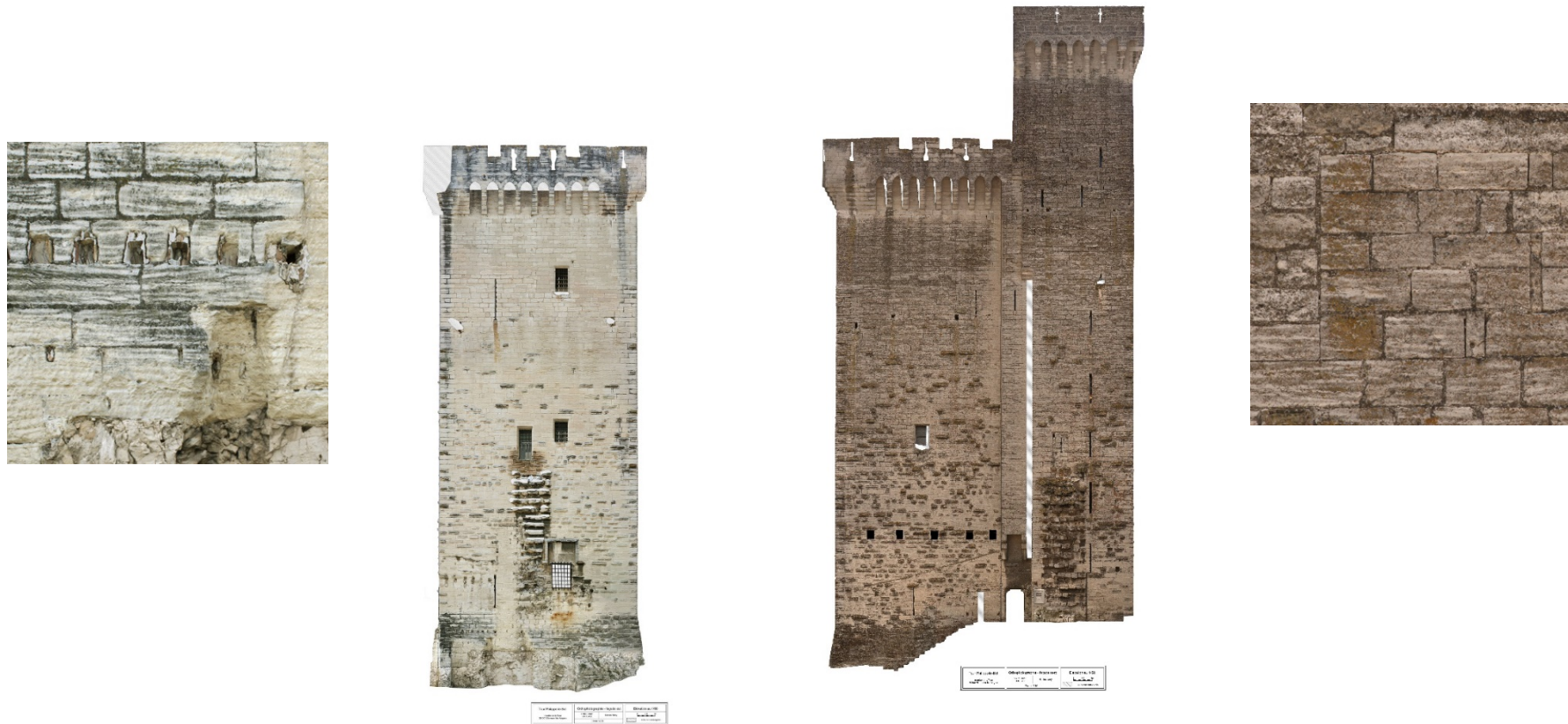
Vue 3D de la position de l'appareil photo au moment des prises de vue

Génération d'un nuage de points 3D dense, décrivant la totalité de l'objet photographié



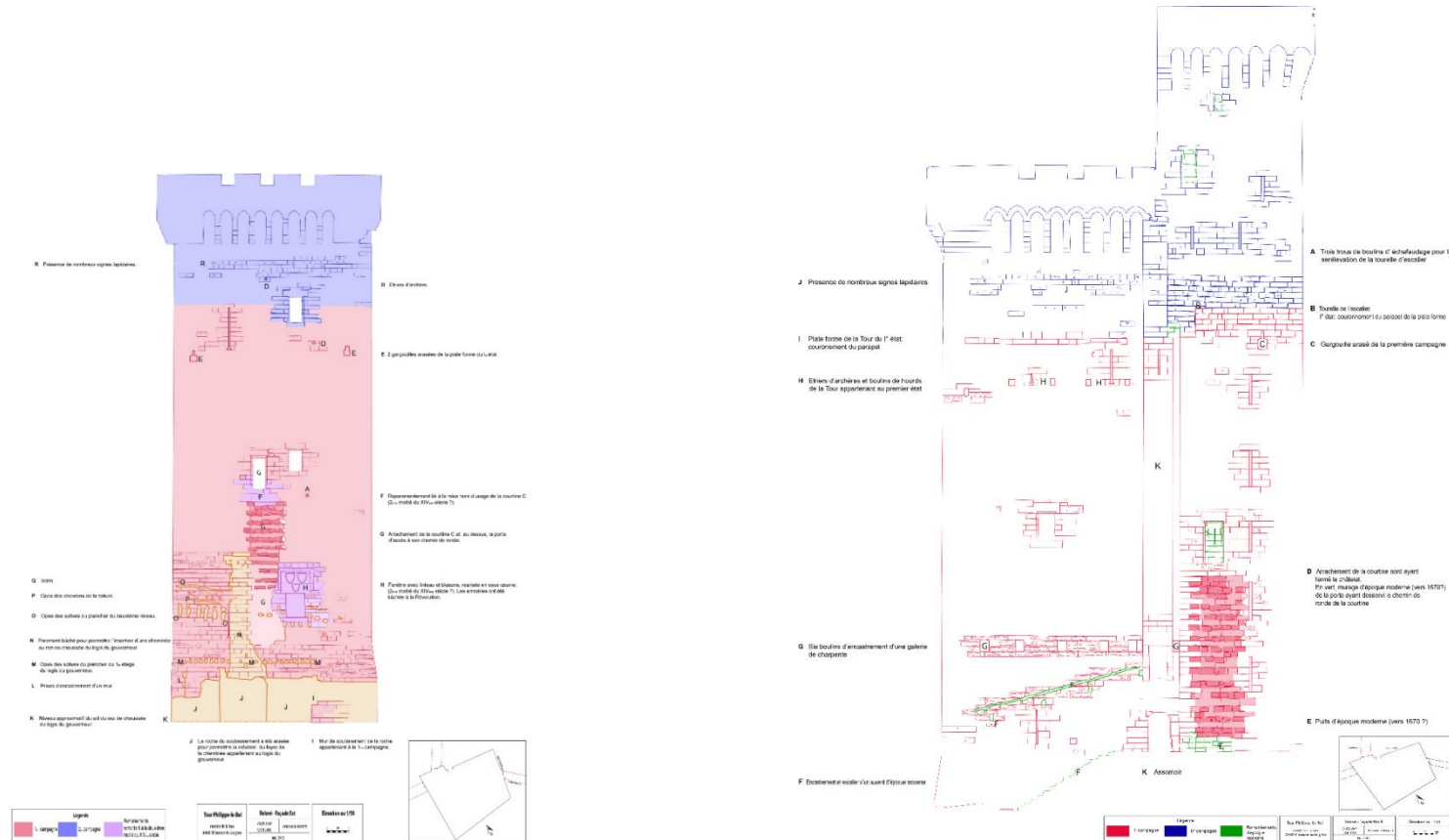
Vue 3D des différentes façades de la Tour Philippe-le-Bel

Génération d'orthophotographies pour chaque façade du bâtiment



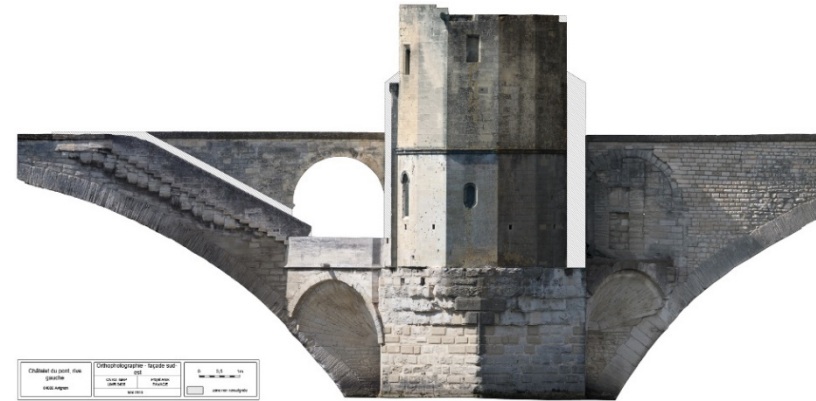
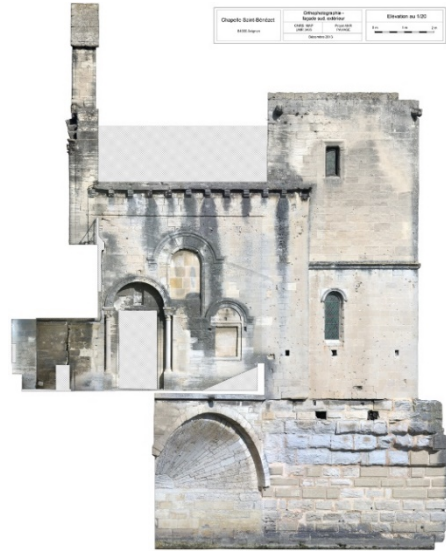
Orthophotographies des façades nord et est de la Tour Philippe-le-Bel

Exploitation des orthophotographies



Interprétations archéologiques des façades nord et est de la Tour Philippe-le-Bel

Quelques orthophotographies réalisées dans le cadre du projet

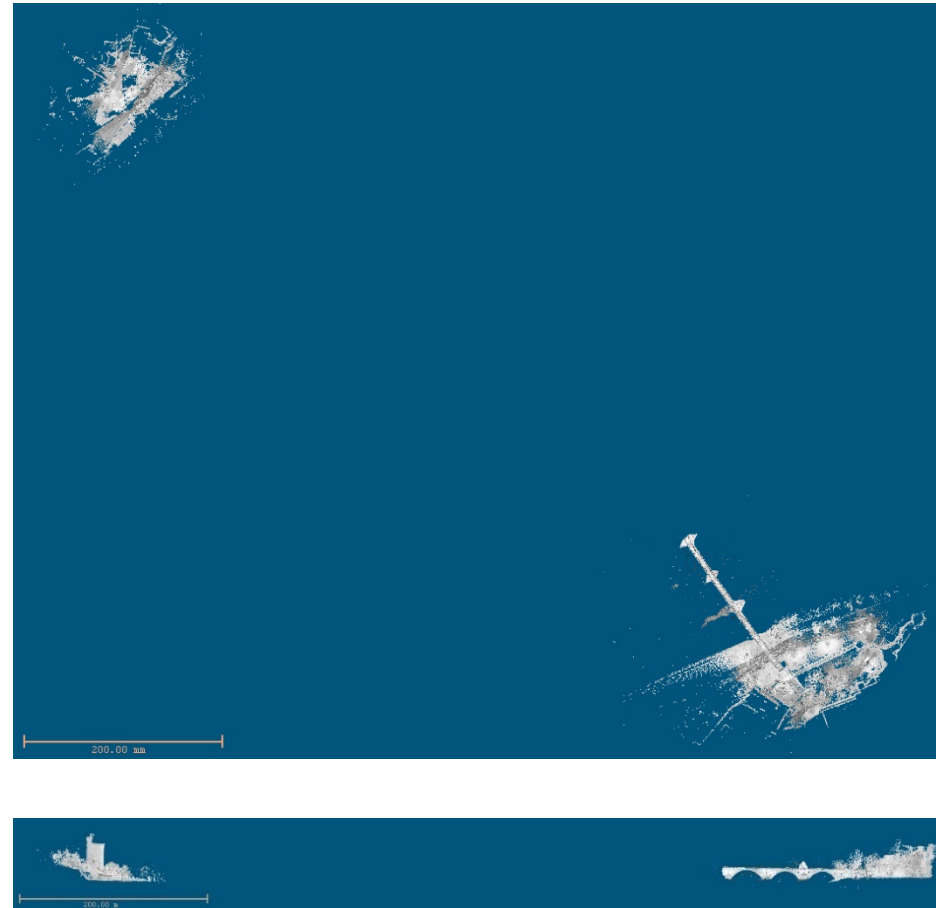


Calage GPS

- Saisir les coordonnées GPS de plusieurs points rive gauche et rive droite (50 points au total)



Intégrer ces données dans les relevés effectués au scanner

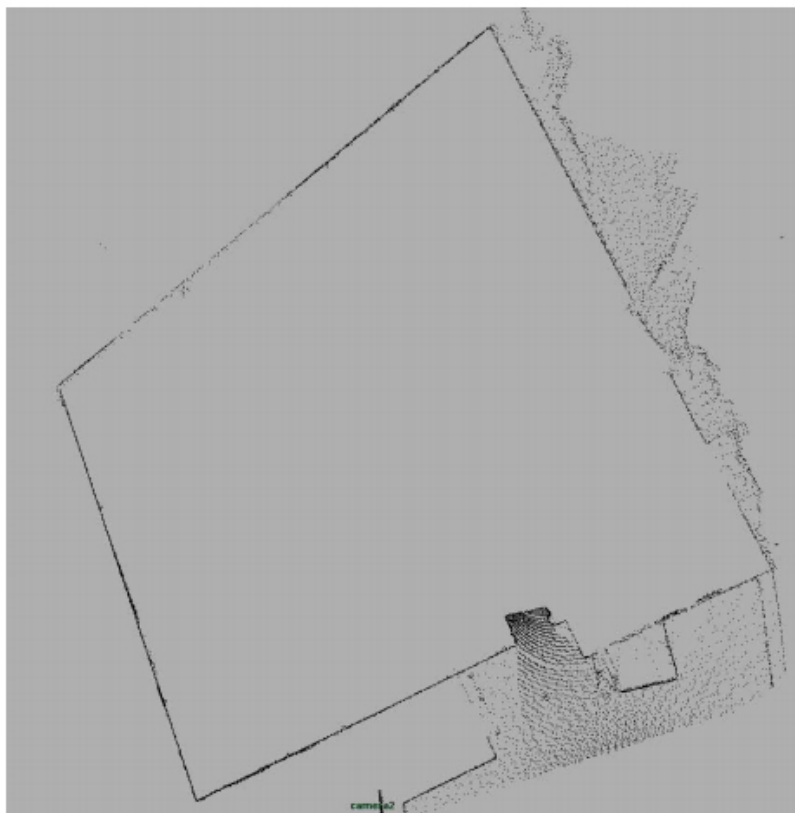


*Têtes de pont rive gauche et droite recalées par rapport aux coordonnées
GPS*

Passer des données relevées à une reconstruction 3D : les verrous

- Importante quantité de données acquises (plusieurs centaines de millions de points) : comment passer à des « formes »?
- Données 3D brutes ne contenant pas d'information : un point ne porte aucune indications sur la « forme » à laquelle il appartient
- Modèles difficilement manipulables (trop lourds, trop de points pour un affichage efficace et fluide)
 - Nécessité de créer une maquette 3D organisée en « formes » pour permettre la restitution des états passés

Reconstruction 3D basée sur les nuage de points

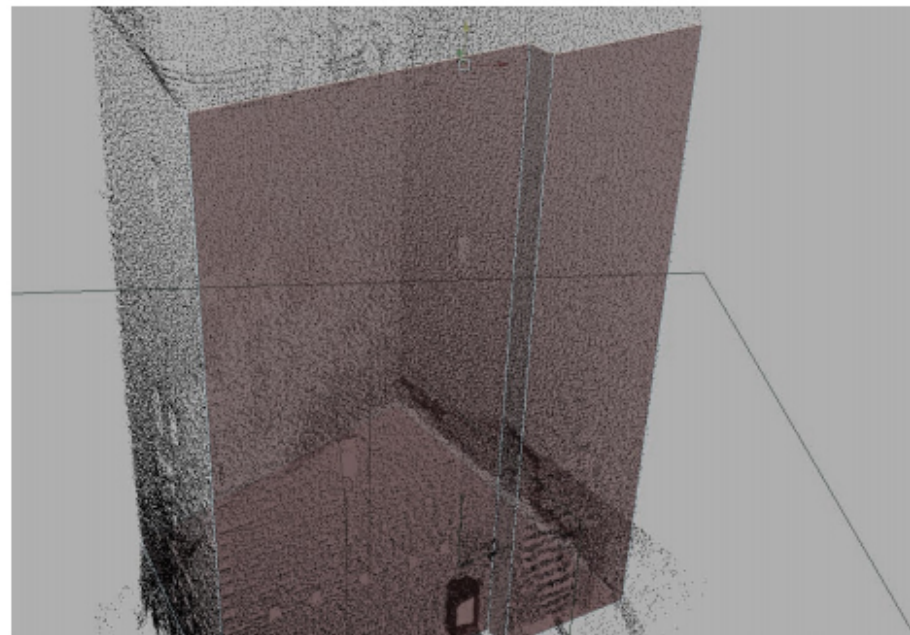
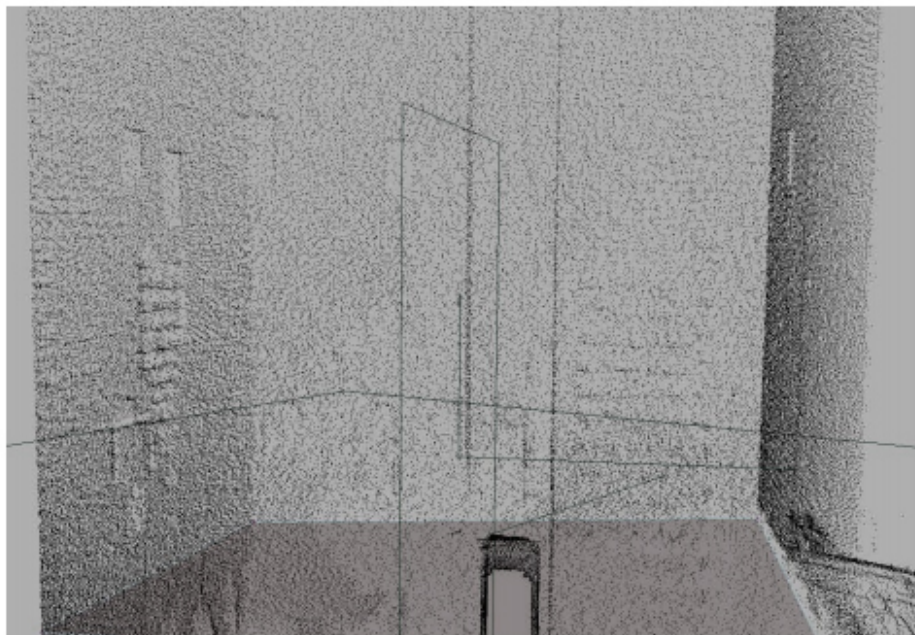


Définition de coupes au sein du nuage de points



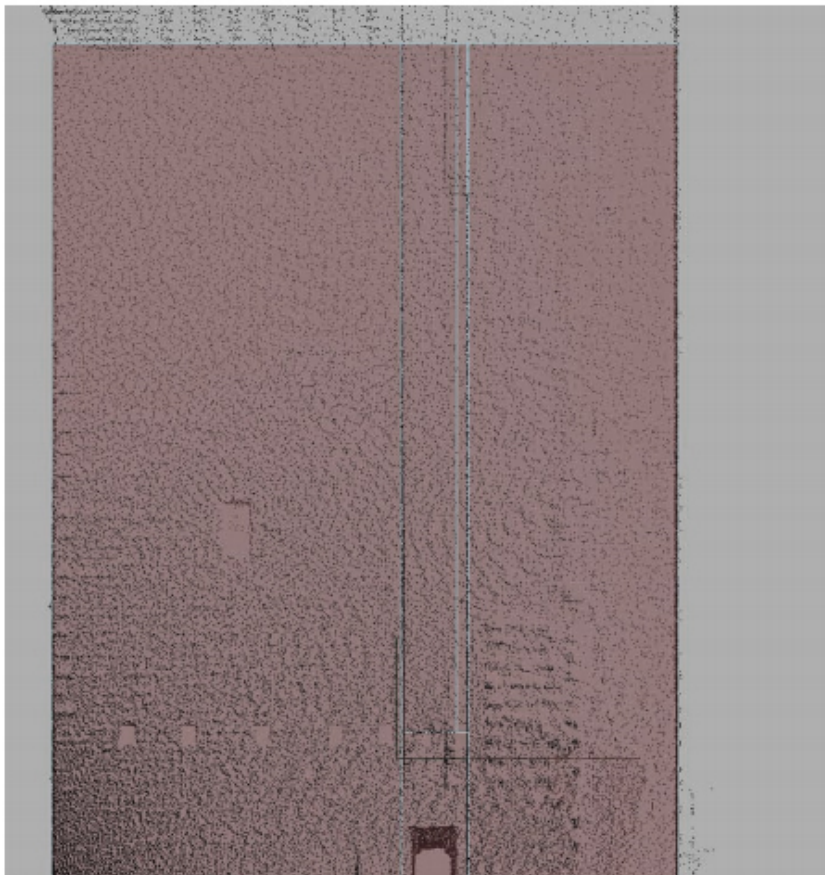
Création de la base du modèle 3D en prenant appui sur la coupe

Reconstruction 3D basée sur les nuage de points

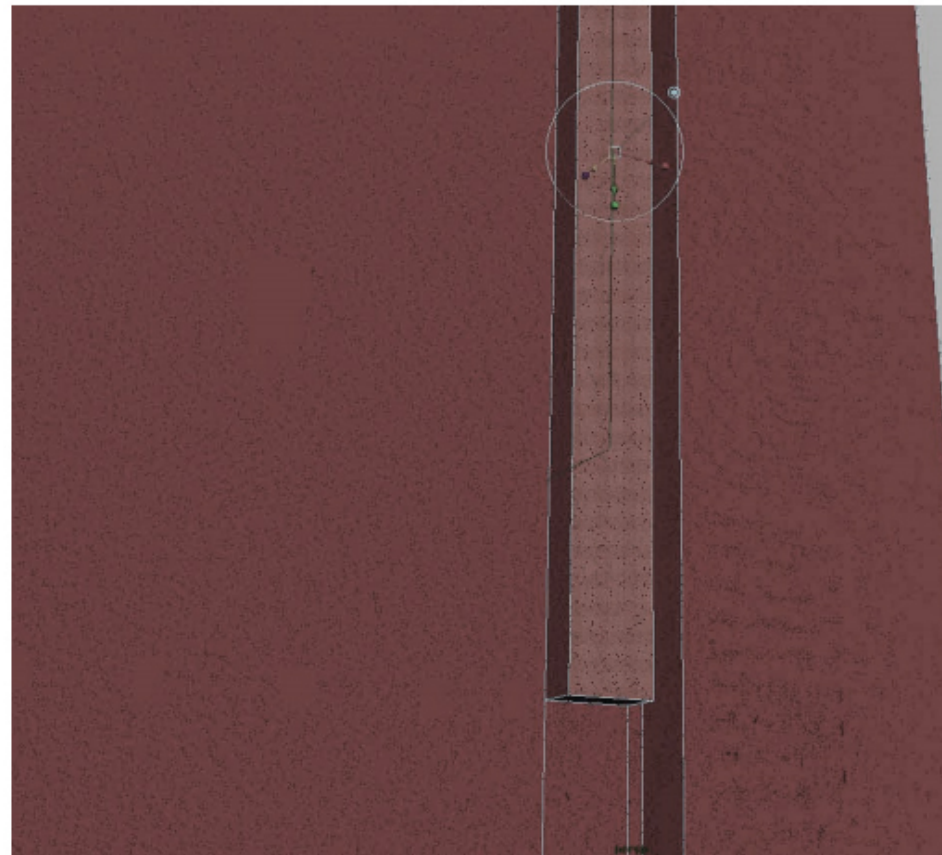


Création de surfaces d'après les parois du bâtiment

Reconstruction 3D basée sur les nuage de points

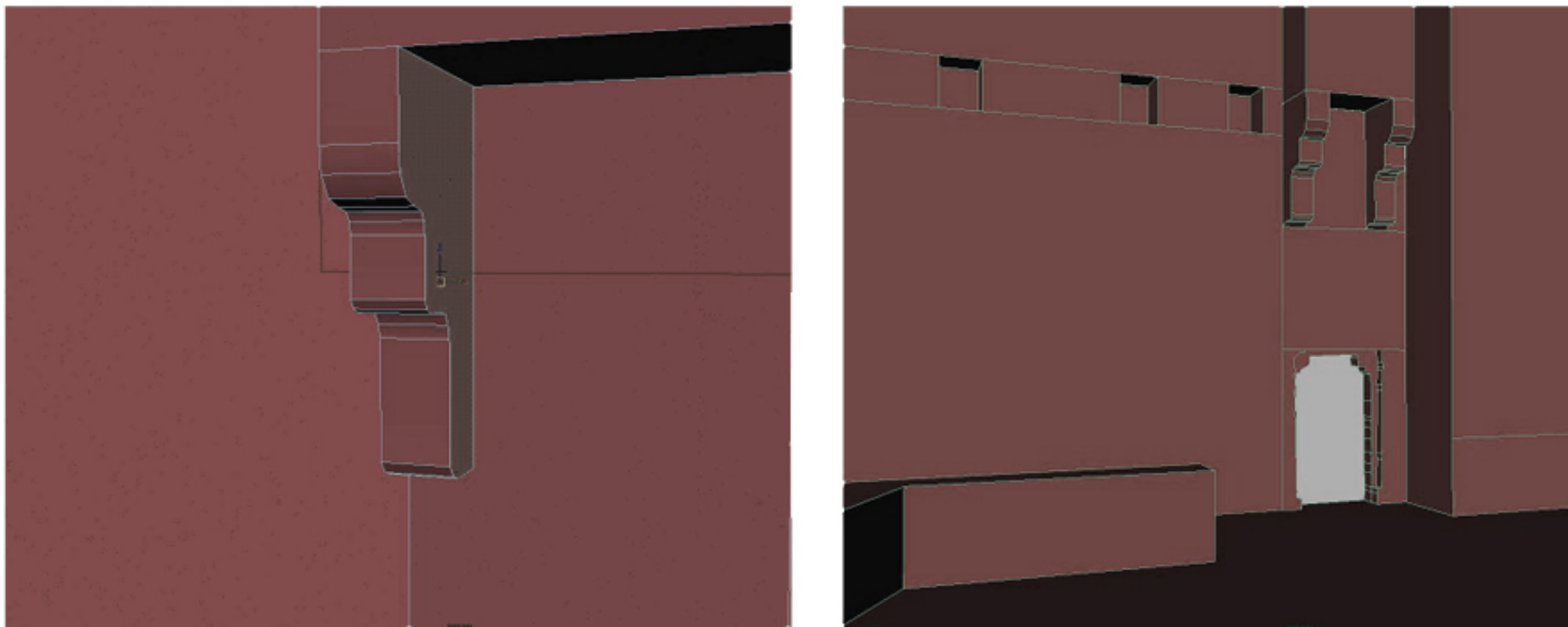


Subdivision du modèle



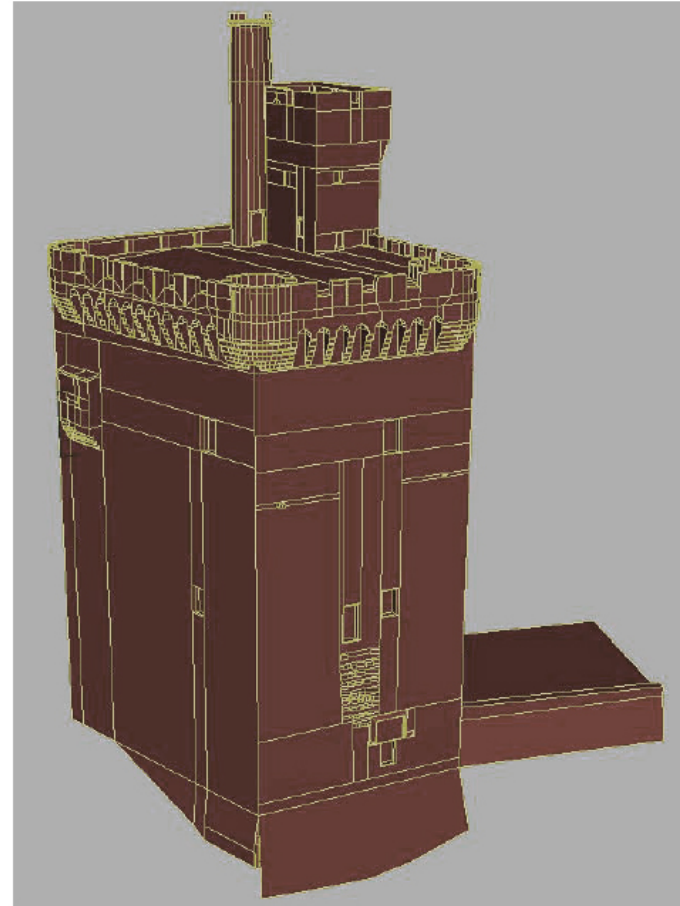
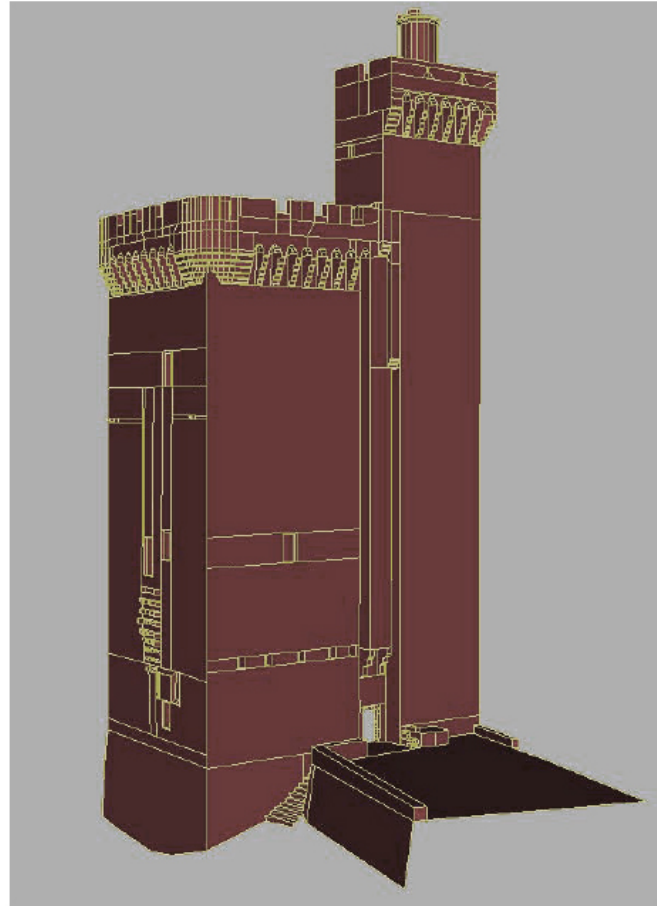
Création des différents volumes de l'édifice

Reconstruction 3D basée sur les nuage de points



Affiner progressivement le modèle en ajoutant les détails architecturaux

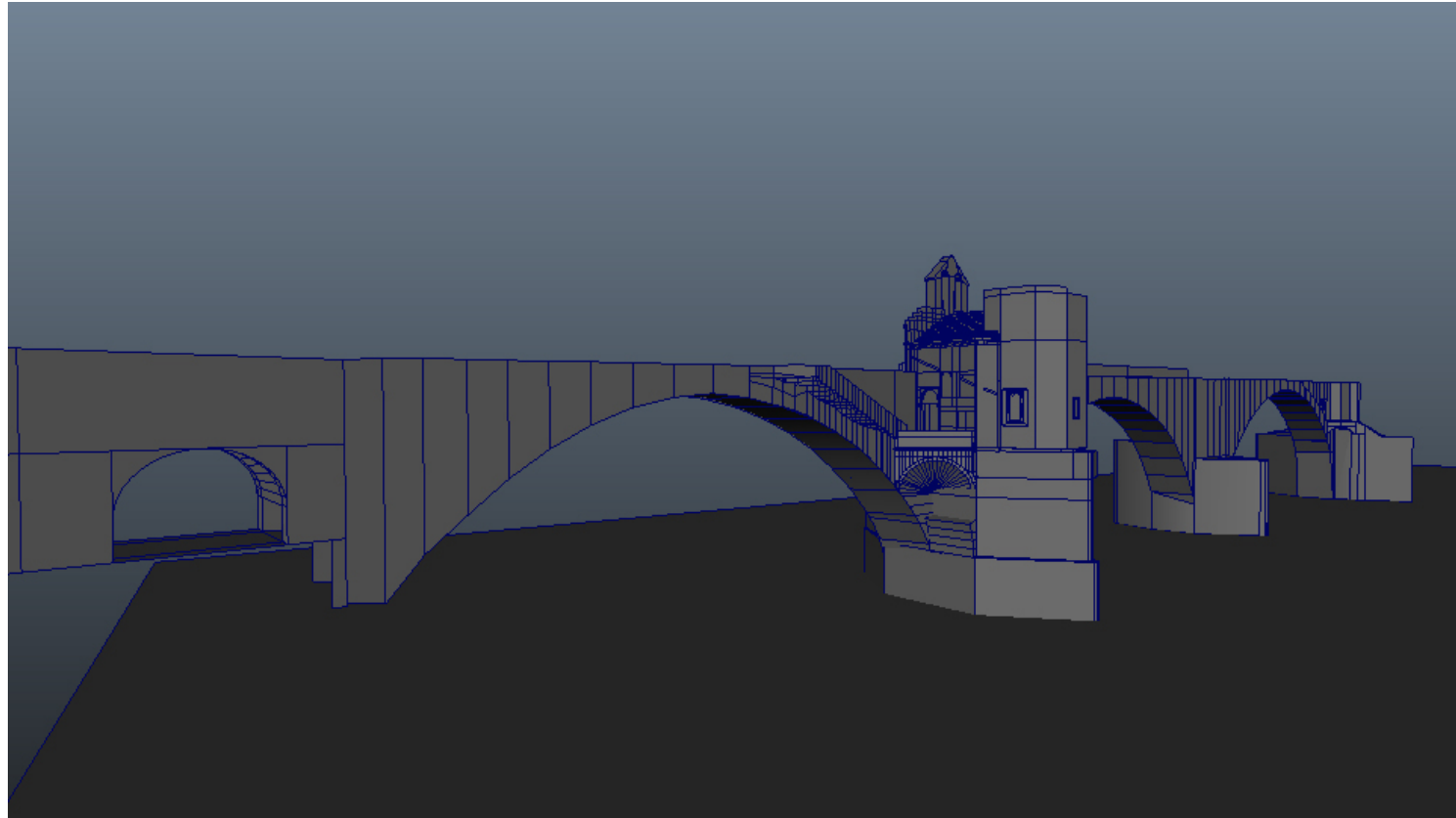
Modèle 3D résultant : un ensemble de polygones



Modèle 3D finalisé de la Tour Philippe-le-Bel

Modèle 3D des éléments du pont :

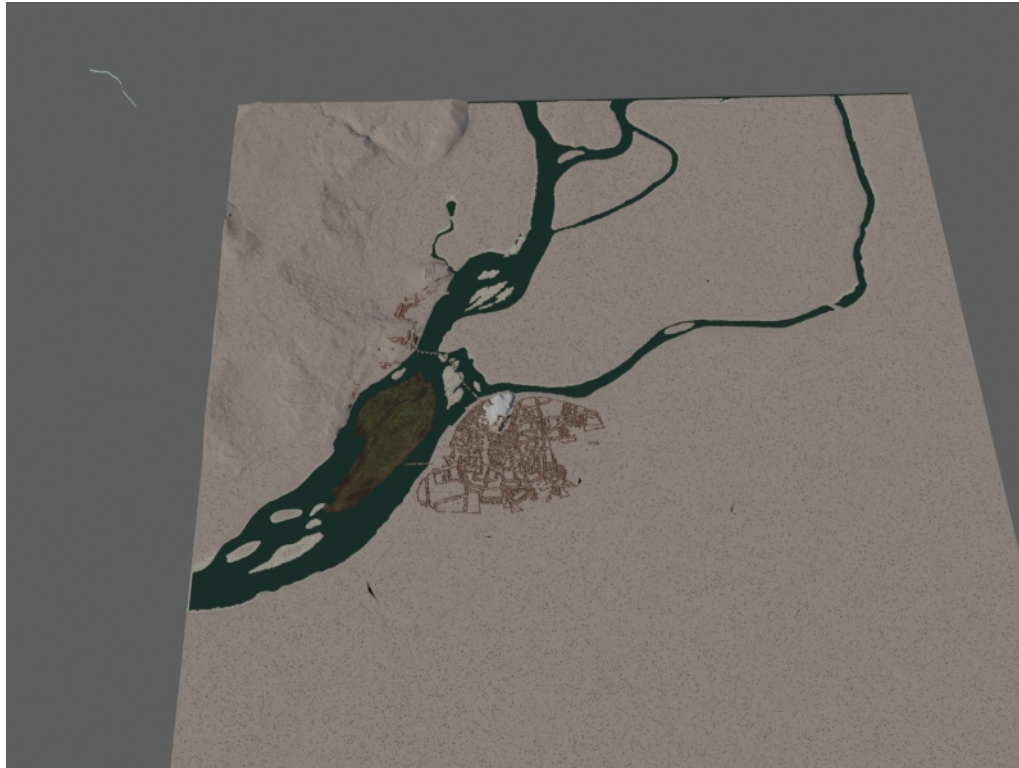
**10 000 polygones (1 Mo de données) VS
400 000 000 de points (1Go de données)**



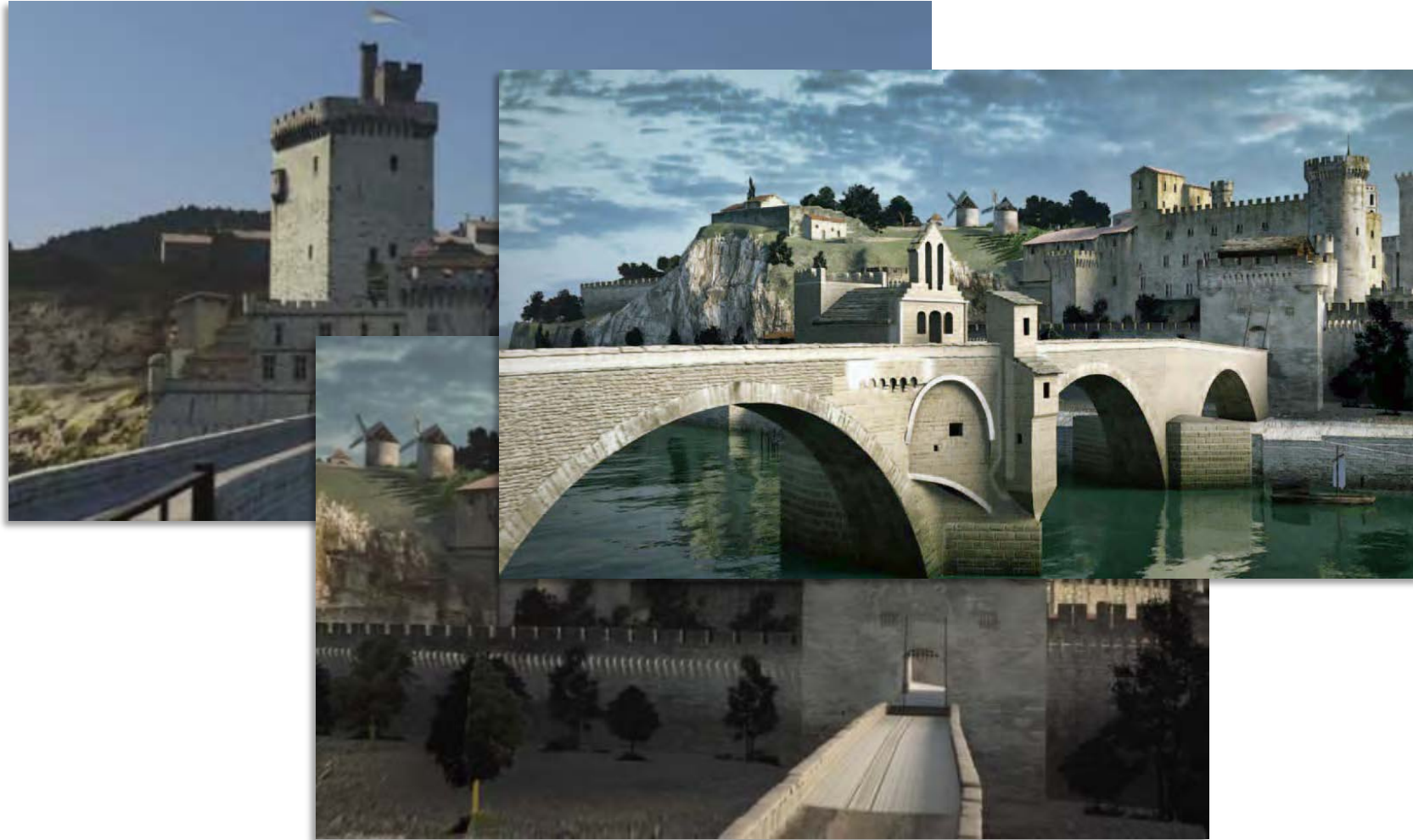
Modèle 3D du pont d'Avignon et de la chapelle Saint-Bénézet

Intégration dans le modèle numérique de terrain

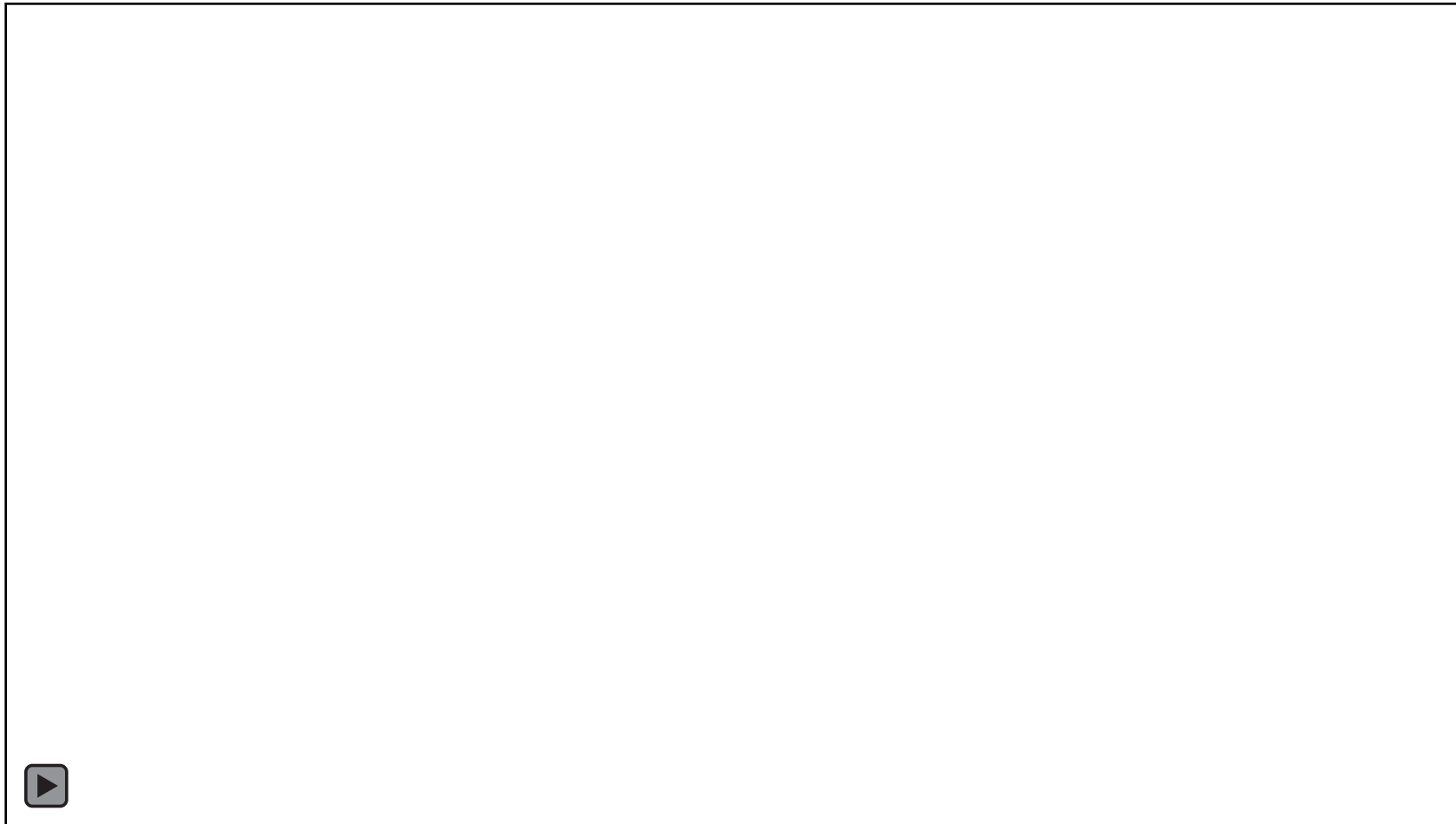
Zone de modélisation : 50km² (7x7) autour d'Avignon



Finalisation des modèles 3D : textures, lumières...



Vidéo finale : la traversée du pont Saint Bénézet d'Avignon à Villeneuve au XVIème siècle



Mise à disposition des start-up pour la création de nouvelles applications

Exemple : [start-up Postmii \(Festival d'Avignon 2017\)](#)

Création de cartes postales personnalisées en réalité augmentée avec l'application SnapPress



POUR ALLER PLUS LOIN

- CEREGE : <http://www.cerege.fr>
- LA3M : <http://la3m.cnrs.fr>
- CIHAM : <http://ciham.ish-lyon.cnrs.fr>
- MAP :
 - Présentation du projet sur le site du MAP :
http://www.map.cnrs.fr/?portfolio_page=pavage-3
 - Site dédié du projet PAVAGE :
http://www.pavage.map.archi.fr/Le_Pont_dAvignon/PAVAGE.html

Retour sur la notion de restitution architecturale

Définition du terme restitution (CNRTL)

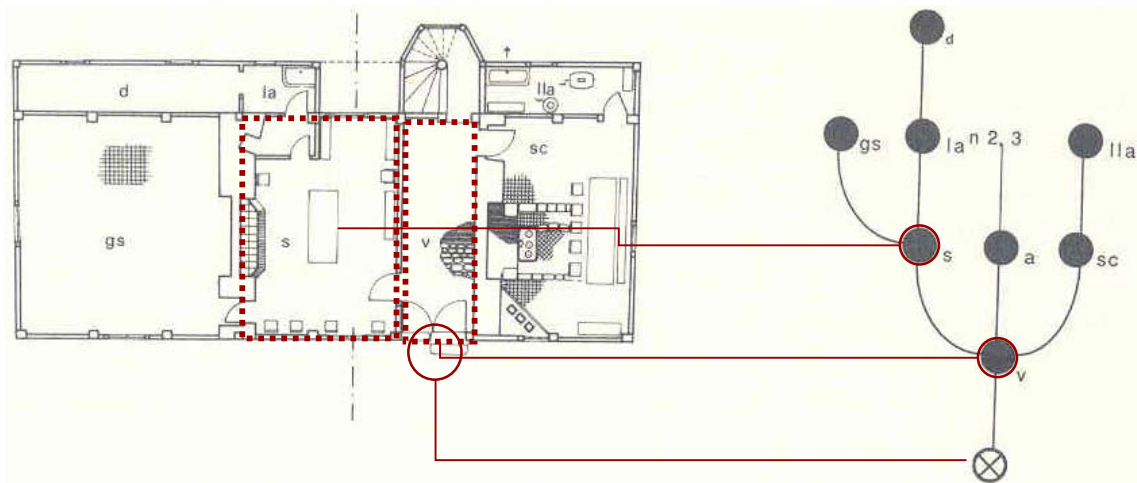
- Action de restituer, de rétablir dans son état premier, original, ce qui a subi des altérations; résultat de cette action. Synon. *reconstitution, rétablissement. Restitution d'un texte, d'un monument.*
 - *En partic.* „Représentation par un dessin ou par une maquette, de l'état présumé d'une construction actuellement en ruines, ou disparue`` (Noël 1968). *On doit à Louis Beulé la restitution des parties disparues de l'Acropole d'Athènes* (Jossier 1881).

> *Le terme n'est donc pas sans ambiguïté, puisqu'il semble utilisable à la fois pour parler d'une campagne de remise en état ou d'une anastylose (touchant l'objet physique) et pour parler d'un dessin, d'une représentation (2D ou 3D, numérique ou non) de l'objet*

Retour sur la notion de restitution architecturale

En fait de restitution « architecturale » nos travaux portent sur la dimension morphologique de l'objet, et sur sa représentation visuelle.

> *A minima sans doute faudrait t'il plutôt parler de restitution visuelle des formes architecturales.*



Qui plus est une telle restitution n'est ni forcément 3D, ni forcément numérique (pour éviter le terme « virtuelle »)

- ⊗ Entrée
- Pièces
- Pièces accessible depuis l'extérieur

Fig. 64. — Plan et graphe de l'habitation «La Ferme de Pommereuil» à Sainte-Marthe, Pays d'Ouche.

Corpus de l'architecture rurale française NO 15 : le logis, niveau 1, rez-de-chaussée.

Retour sur la notion de restitution architecturale

Pour finir que restituons-nous ? Un état *présumé* (résultat de choix successifs, pouvant donner lieu à formulation d'un *jeu* d'hypothèses)

> Peut-être faudrait t'il parler plutôt de simulation visuelle d'hypothèses de restitution des formes architecturales

Ou encore privilégier le terme habile utilisé par J.C Golvin

Golvin, J.C.: Essai **d'évocation visuelle** d'Alexandrie romaine, in: Dossiers de l'archéologie, Paris, 201, 1995, p.58-61

> Mais les termes de toute façon nous échappent

L'archéologue et architecte Jean-Claude GOLVIN, est devenu, depuis une vingtaine d'années, la référence mondiale pour les restitutions de cités et monuments antiques au moyen de l'aquarelle.

http://www.arles-antique.cg13.fr/popup_expos/golvin/_docs/Dossier_enseignant_Golvin.pdf

Restitution (la pratique, pas le terme) : éléments de caractérisation et d'évaluation nés de nos expériences

Un travail de « création », mais à des degrés très variables, et s'appuyant potentiellement sur deux bases distinctes:

- Des observations contemporaines, in situ, voire du relevé
- Des observations indirectes, transmises au travers du temps

chacune portant ses choix, ses incertitudes.

> Enjeu de « vérité » ne se situe pas dans ce qui est montré – il s'agit de toute façon d'une forme de fiction, mais dans la lisibilité ce qui est à la base de la proposition formulée.

Une attente devenant quelquefois un passage obligé, voire auto-imposé

> Enjeu de « vérité » dans la définition des objectifs poursuivis, des services attendus, et des plus-values scientifiques obtenues.

> Exigence d'humilité et d'ouverture pluridisciplinaire pour les scientifiques dans leurs efforts de scénarisation, mais aussi positionnement devenant ambiguë si le seul résultat est transmis

Restitution (la pratique, pas le terme) : éléments de caractérisation et d'évaluation nés de nos expériences

Un travail dont les résultats gagneraient sans doute à s'ouvrir à des dimensions, ou des modalités plus larges, multi sensorielles (au-delà des avancées en cours du type AR/VR):

- Dimension tactile
- Dimension sonore
- Langages visuels symboliques
- ...

Un enjeu ouvert: faire du processus d'interprétation lui-même un récit

Tenter de faire de la restitution une pratique *évaluable* en développant des *métriques*

- *Accessibilité des sources*
- *Lisibilité des interprétations*
- *Valeur ajoutée de la simulation*
- *Effort de synthèse*

En conclusion : notion de mémorisation des processus

Derrière la pratique « restitution » se trouvent des activités disjointes, chaînées ou non, individuelles ou collectives, pratique fortement impactée par des choix technologiques ou au contraire fortement dépendante des connaissances et « intuitions » de l'analyste, etc.

Si ces activités, et les choix faits par ceux qui les mènent, ne sont pas mémorisées et transmises, quelle portée aura leur résultat (et notamment une restitution)?

MEMORIA (MEMorisation de Ressources numériques et d'Activités): un programme exploratoire visant à développer un système d'information permettant la description, la structuration et l'archivage des ressources numériques produites dans le cadre de projets d'études et de documentation d'objets patrimoniaux. L'objectif sous-jacent du projet est de mémoriser non seulement un résultat – i.e. une ressource numérique - mais aussi et surtout son historique de production, autrement dit la façon dont ce résultat a été obtenu.

<http://memoria.gamsau.archi.fr>

