



**CAHIER DES CHARGES GÉNÉRIQUE
PRODUCTION DE MODÈLES 3D**

CENTRE DES MONUMENTS NATIONAUX

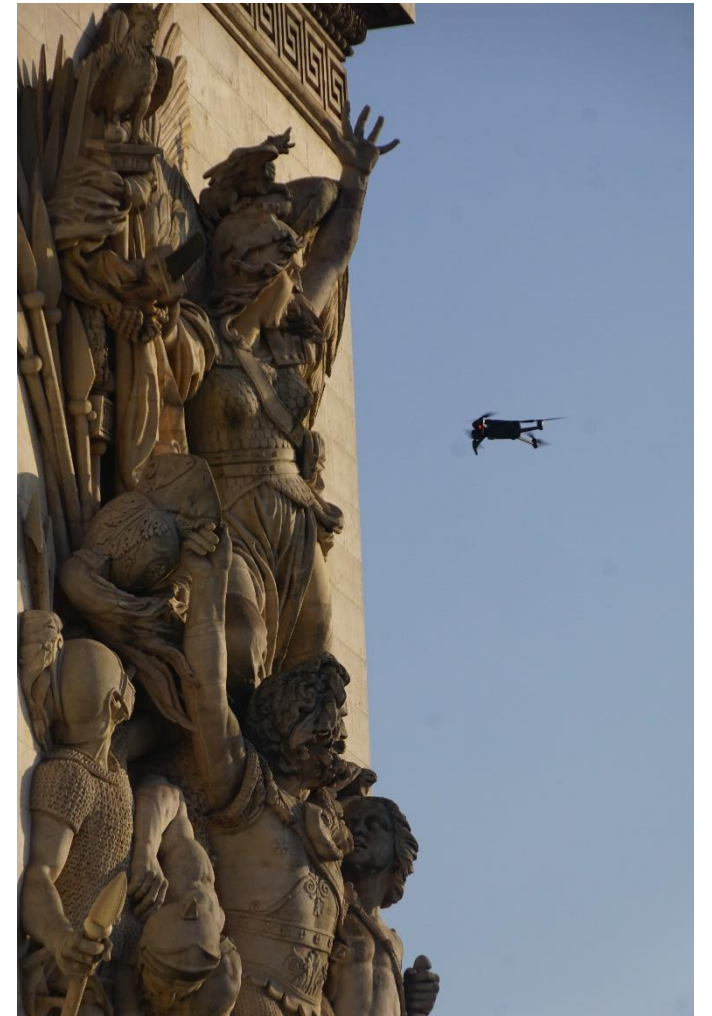
« CMN Numérique »
Mis à jour après la revue du
25 Juillet 2024

AGENDA



- Programme « CMN Numérique »
- Objectifs du cahier des charges générique
- Sources
- Usages
- Lieu
- Méthodologie projet
- Précision
- Métadonnées et parodonnées
- Livrables
- Droits
- Propositions technique & financière
- Points clés

→ Cette présentation correspond à la v12 du document



Numérisation de l'Arc de triomphe par drone

LE PROGRAMME « CMN NUMÉRIQUE »

Constituer et valoriser une base de représentations numériques (modèles 3D, visites virtuelles, vidéos 360°) de monuments auprès du grand public et des professionnels



[Pour en savoir plus](#)

- Lauréat de l'appel à projets « Numérisation du patrimoine et de l'architecture » du PIA4
- Durée du programme : **3 ans (2022 – 2025)**

1

Tester de nouvelles expériences pour toucher de nouveaux publics

4

Améliorer l'empreinte environnementale des services numériques immersifs

2

Développer la diffusion des visites guidées à distance et de leurs déclinaisons de format

5

Standardiser la production, le stockage et la visualisation des actifs numériques

3

Adresser de nouveaux marchés, dont les décors virtuels

6

Tester les possibilités de réutilisation des représentations numériques

OBJECTIFS DU CAHIER DES CHARGES « GÉNÉRIQUE »



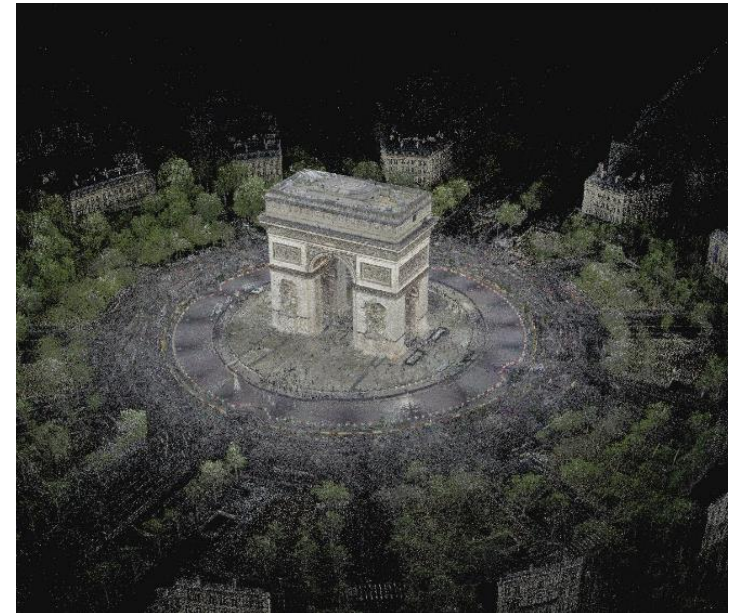
Maximiser les possibilités de réutilisation d'un modèle 3D

- Pour le même usage, plus tard
- Pour le compléter
- Pour un autre usage, dans la mesure du possible...



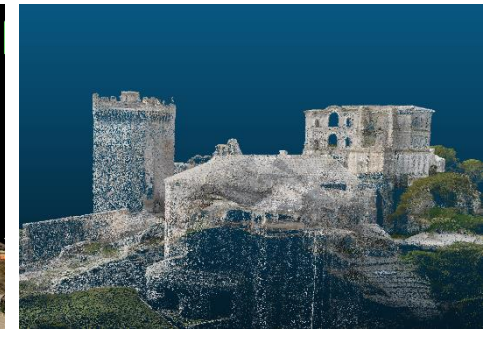
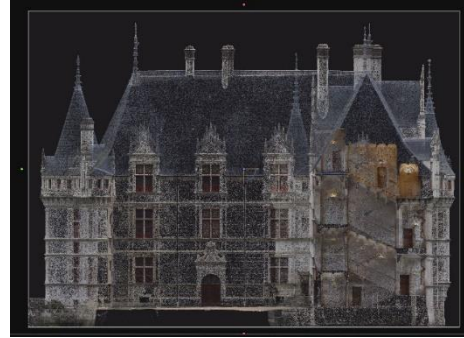
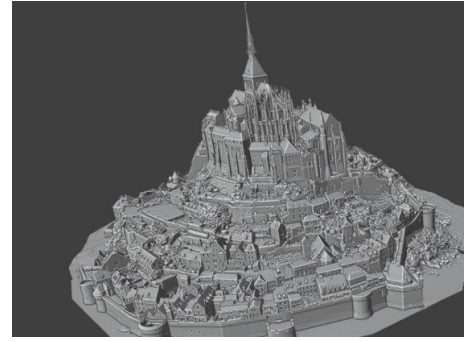
Répondre aux questions suivantes

- Qu'est-ce qu'il ne faut pas oublier selon l'usage souhaité ?
- Quel compromis entre possibilités de réutilisation et budget ?
- Que demander pour pouvoir stocker et exploiter plus tard ?



SOURCES

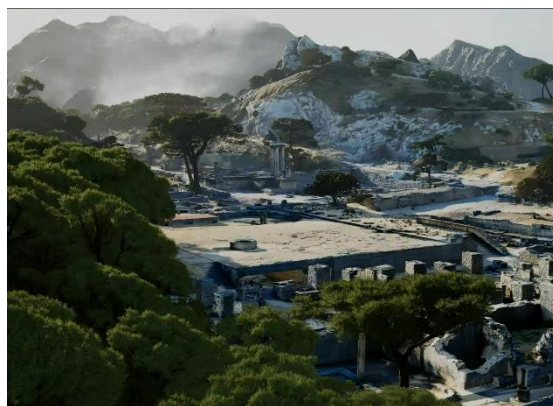
- **Échanges**
 - Avec nos partenaires privés : IMA Solutions, HelloCapture, Lay3rs
 - Avec des équipes de recherche : Centre National de Préhistoire, CNRS/MAP, CNRS/IRAA, CEA List, Université Libre de Belgique, livres blancs Consortium 3DHN
 - Avec des projets similaires : Cosquer, 3D ROC, Palais des Doges
 - Avec les participants de la revue du 25 Juillet 2024
- **Retour d'expérience de nos numérisations**
 - Mont-Saint-Michel
 - Site archéologique de Glanum
 - Châteaux d'Azay-le-Rideau et de Champs sur Marne
 - Tour Saint Nicolas de la Rochelle
 - Abbaye de Montmajour
 - Grotte de Font-de-Gaume
 - Arc de triomphe



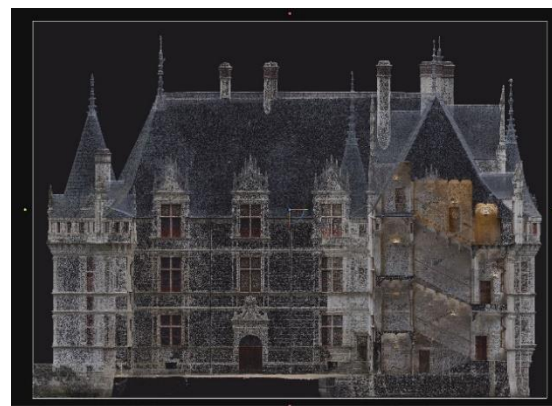
USAGES



Mont Saint Michel
Expérience en réalité virtuelle



Site archéologique de Glanum
Intégration de photogrammétrie dans Unreal Engine 5 pour une visite à distance



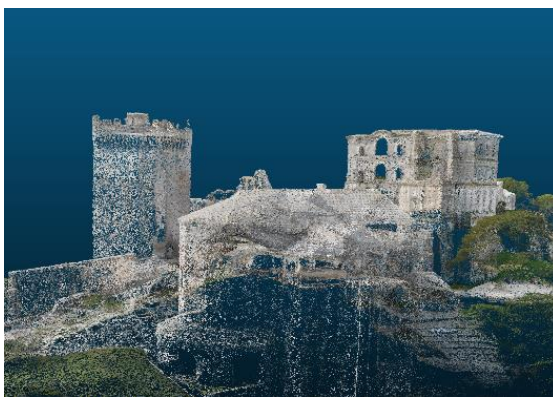
Château d'Azay le Rideau
Reconstitution dans un univers 3D temps réel



Château de Champs sur Marne
Plan de sauvegarde et de conservation des collections (tests)



Tour Saint Nicolas de la Rochelle
Travaux de sondage



Abbaye de Montmajour
Test de nouvelles technologies de reconstruction 3D



Grotte de Font-de-Gaume
*Conservation et maintenance
Création d'une visite à distance*

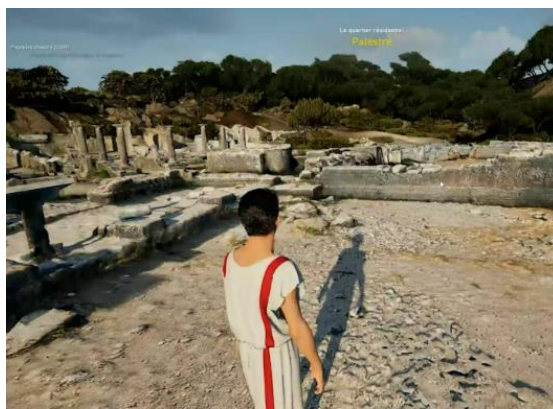


Arc de triomphe
Impressions 3D pour une mallette pédagogique

USAGES



Mont Saint Michel
Expérience en réalité virtuelle



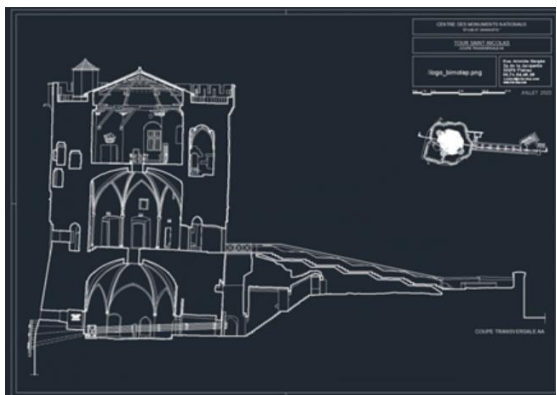
Site archéologique de Glanum
Intégration de photogrammétrie dans Unreal Engine 5 pour une visite à distance



Château d'Azay le Rideau
Reconstitution dans un univers 3D temps réel de type métavers



Château de Champs sur Marne
Plan de sauvegarde et de conservation des collections (tests)



Tour Saint Nicolas de la Rochelle
Travaux de sondage



Abbaye de Montmajour
Test de nouvelles technologies de reconstruction 3D



Grotte de Font-de-Gaume
*Conservation et maintenance
Création d'une visite à distance*



Arc de triomphe
Impressions 3D pour une mallette pédagogique

USAGES

Deux grandes catégories assez interconnectées :

1. « Conservation, entretien et recherche »

- Plans
- Géométraux : coupes, élévations, orthophotos...
- Plans de sauvegarde
- Constats d'état

→ respect de la **géométrie** et **géoréférencement** (en général)

2. « Médiation et valorisation »

- Expérience immersive en réalité virtuelle, métavers
- Visite à distance
- Borne in situ
- Jeu vidéo

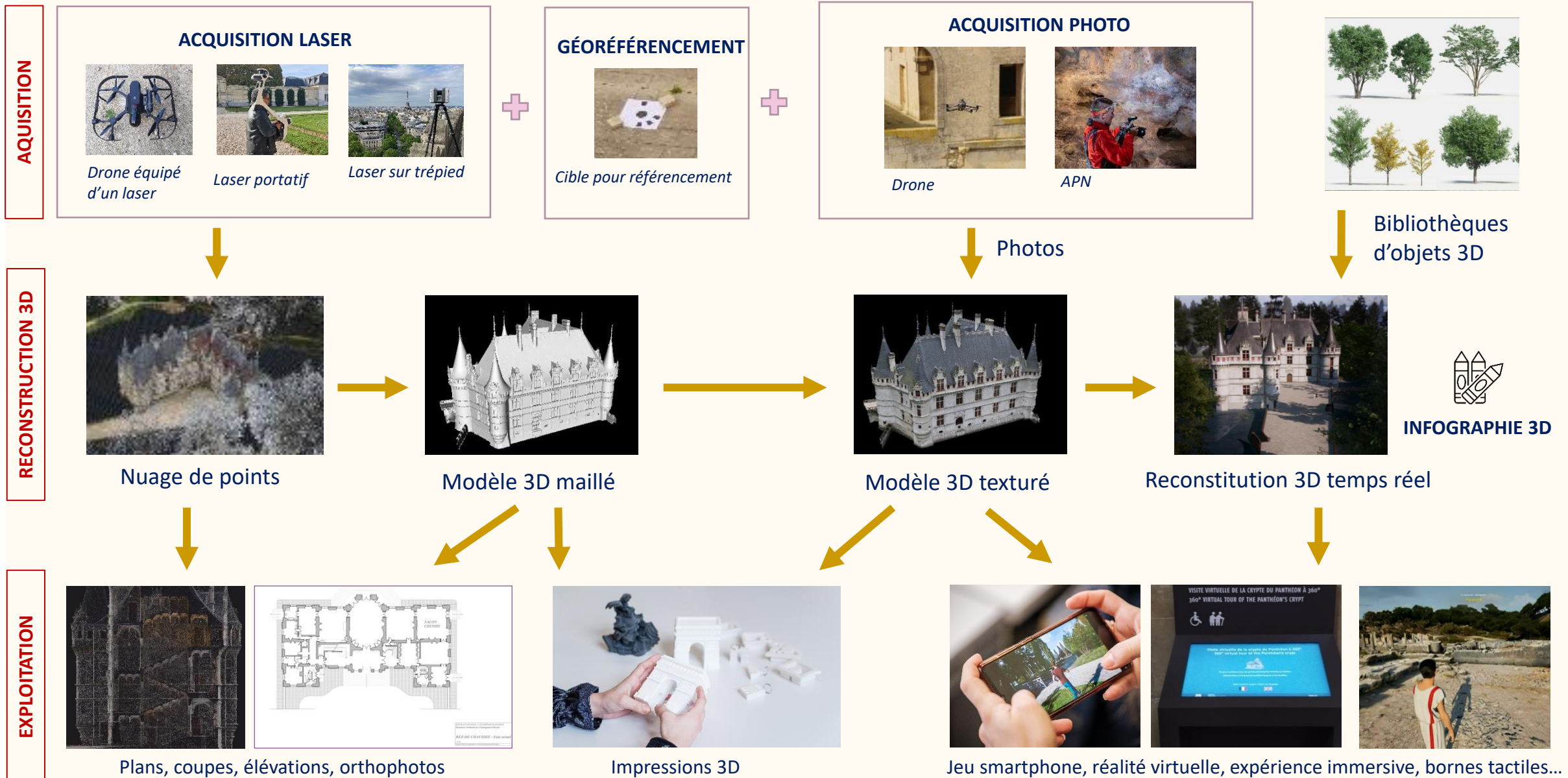
→ modèle **coloré**, **échantillonné**, avec de belles **textures**

- Impressions 3D...

→ modèle maillé **fermé hermétiquement**



USAGES - PROCESSUS



USAGES - ASPECTS FINANCIERS

- **Si la géométrie compte...**
 - LIDAR mobile (SLAM *Simultaneous Localization and Mapping*)
 - LIDAR fixe
 - Lumière structurée (objets)

→ le moins cher, surtout si la qualité d'un LIDAR mobile suffit

→ produit un **nuage de points**
- **Si les textures sont importantes...**
 - Ajouter des photos (si peu de résolution nécessaires)
 - Prévoir de la **photogrammétrie** (si beaucoup de détails)

→ plus c'est détaillé, plus c'est cher

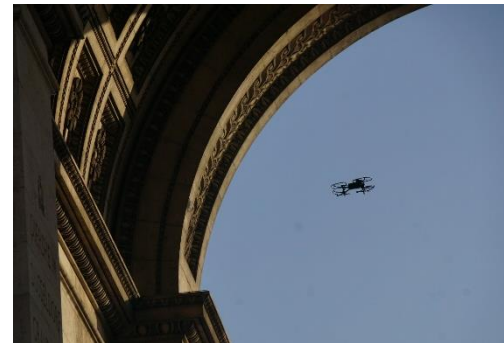
→ peut doubler le prix (et quintupler le temps d'acquisition)
- **Géoréférencer** dans tous les cas
 - coûte environ 15% de plus
 - mais augmente les possibilités de **réutilisation** !



LIDAR fixe à Glanum



Photogrammétrie à Font-de-Gaume



Drone photo à l'Arc de triomphe



Lumière structurée à Champs-sur-Marne



LIDAR mobile à Champs-sur-Marne

LIEU

- Périmètre d'acquisition
- Superficie
- Spécificités & contraintes : tous les lieux sont différents !
- Fermeture possible (ou non) au public



Site archéologique de Glanum
2,5 ha de superficie



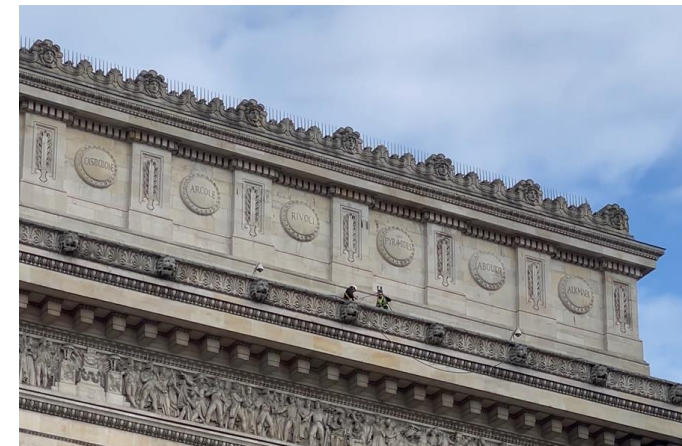
Mont Saint Michel
Aucun jour de fermeture au public



Château d'Azay-le-Rideau
Miroir d'eau



Grotte de Font-de-Gaume
Captation en 6 jours avec 2x3 personnes maximum, passages de moins d'un mètre de large...



Arc de triomphe
Aucun jour de fermeture au public, fenêtre de 3h pour le drone, habilitation aux travaux en hauteur

MÉTHODOLOGIE PROJET

1. Planning détaillé (parfois heure par heure)

- Impératifs de sécurité et de conservation
- Contraintes de co-activité
- Besoins en balisage et en agents supplémentaires

2. Segmentation du site et nommage des différentes parties

- Suivi de l'acquisition
- Suivi des livraisons
- Stockage et archivage des livrables

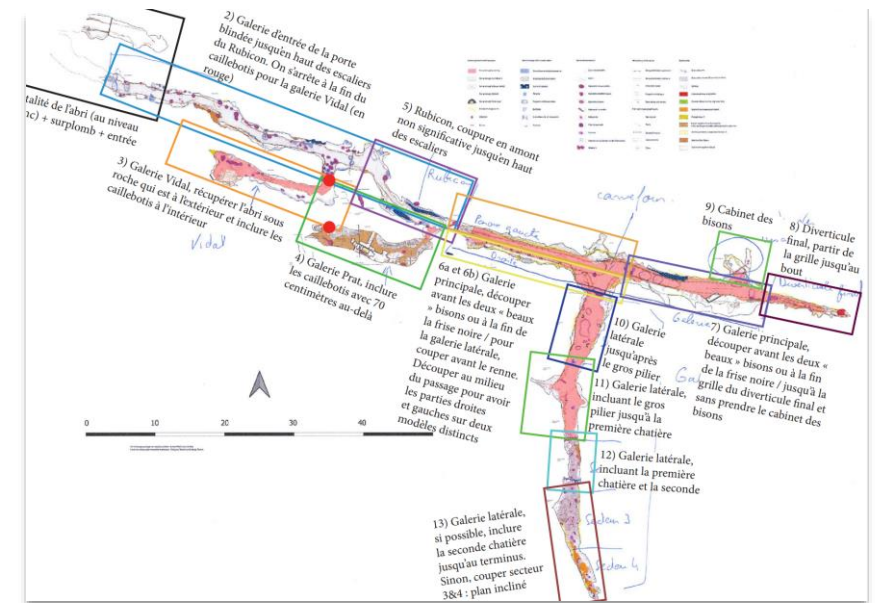
3. Référence numérique initiale : visite virtuelle (panoramas 360°) et/ou acquisition maîtresse (LIDAR), de préférence annotable

- Référence pour échanger et suivre l'avancement
- Vérification de la complétude des livrables

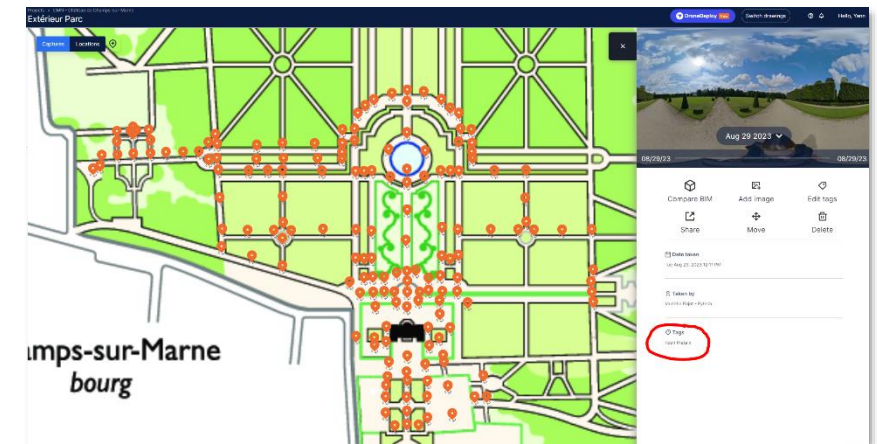
4. Outils de suivi, de visualisation et de contrôle des livrables

- Prévoir **itérations** pour garantir l'adéquation au besoin
- Prévoir réunions en **présentiel** pour valider les livrables

5. Essai témoin, si besoin, pour valider la méthodologie d'acquisition



Segmentation de la grotte de Font-de-Gaume



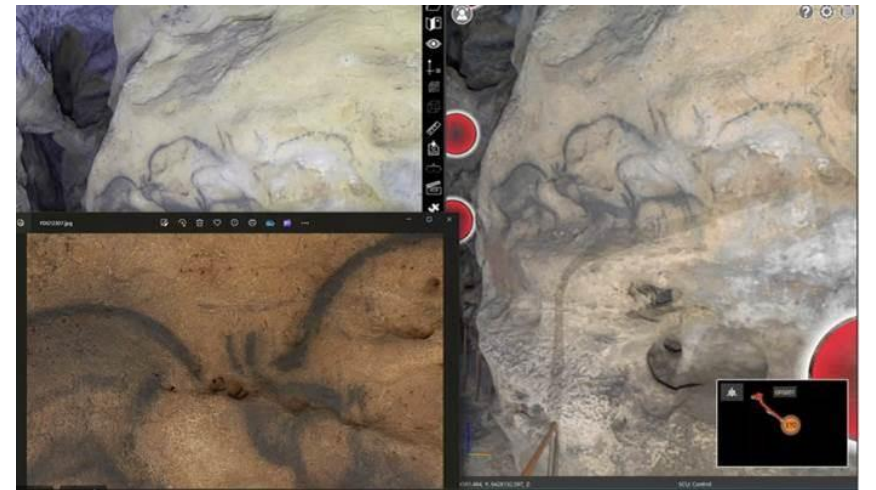
Suivi de projet à Champs-sur-Marne avec plan et visite virtuelle intégrés

PRÉCISION

- **Géoréférencement** : tolérance de 5 mm
- **Précision des acquisitions**
 - Qui peut le plus ne peut pas forcément le moins !
 - Plus c'est détaillé, plus c'est **coûteux** et difficile à manipuler
 - **Définir** le détail le plus fin qui doit être restitué
 - Vérifier les **contraintes** du lieu : exigüité, distance minimale de vol
 - distinguer les zones selon le degré de détail souhaité
 - résolution à demander = 50% du détail le plus fin
 - recommandations générales à adapter selon les besoins
 - Extérieurs : 5 à 10 cm
 - Bâtiment : 5 mm à 1 cm
 - Sculptures : 1 mm
- **Textures** : 4K minimum + mappage avec dépliage des UVs
- **Colorimétrie**
 - Inutile pour des impressions 3D ou des plans
 - Sinon exiger charte colorimétrique, étalonnage et livraisons en RAW
 - Colorimétrie des acquisitions laser moins précise que la photo



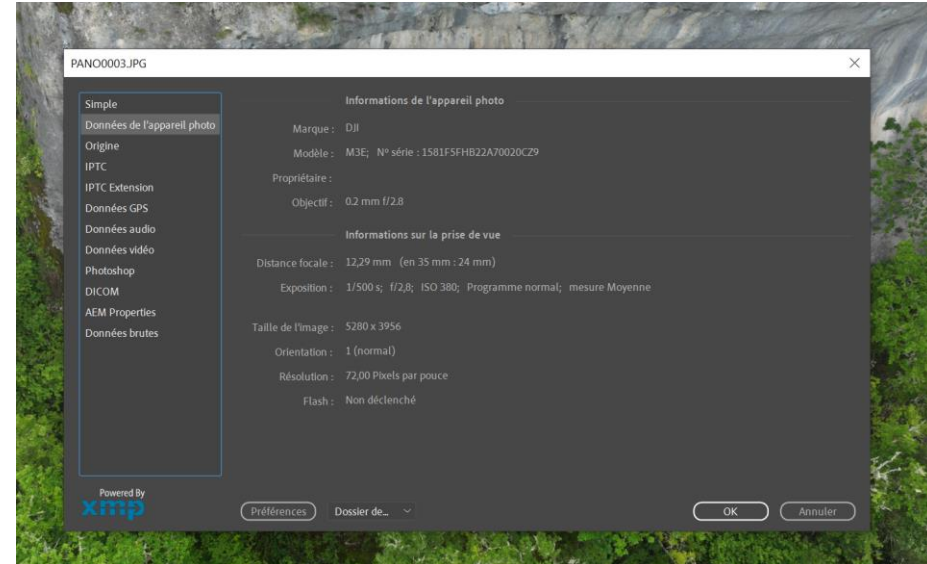
Détails de l'escalier du château d'Azay-le-Rideau



Variations de colorimétrie sur une même zone à Font-de-Gaume

METADONNÉES & PARADONNÉES

- Informations **capitales** pour l'archivage et la réutilisation
 - Métadonnées : informations sur les données (ex: EXIF des photos)
 - Paradonnées : informations sur le processus de **collecte** ou de **production** des données.
- Exemples
 - EXIF des photos : type de matériel, taille du capteur, focale, ISO, temps de pose, formats, coordonnées géographiques...
 - Localisation des stations de scan, réglages, densité de points...
 - Etc..
- Sans ces informations, impossible de :
 - **Archiver** à long terme
 - **Reconstruire** à partir des données brutes d'acquisition
 - Comprendre d'éventuelles **anomalies** du rendu
 - **Compléter** ou substituer des portions d'acquisitions
- Mais difficile de vérifier totalement l'exactitude et la complétude



Exemple de données EXIF d'une photo panoramique



Aperçu des stations de scan dans Font-de-Gaume

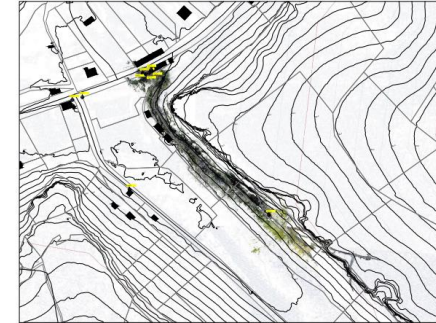
LIVRABLES [1/2]

1. Données brutes d'acquisition aux formats natifs

- Fichiers issus des scanners (formats FLS, ZFS ou LGS selon la marque) et logiciel de visualisation (exemple : Truview ou Faroscene)
- Photographies au format RAW ou TIFF avec leurs EXIFs
- Triés et structurés selon la **segmentation** décidée au lancement

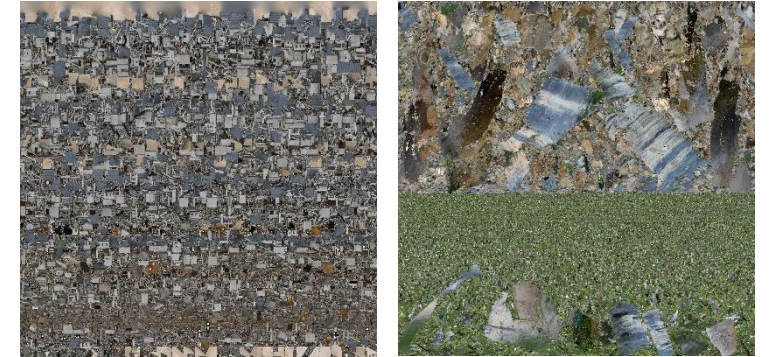
2. Assemblages (selon ce qui a été demandé)

- Nuages de points aux formats e57 et ASCII
- 3 versions du modèle 3D maillé texturé aux formats OBJ et FBX
 - Avec des échantillonnages différents selon besoins
- Version du modèle **hermétique** au format STL (impressions 3D)
- **Textures** séparées avec une résolution 4K mini au format PNG
- Cartes des **normales**, de **diffusion** et de **profondeur** en PNG
- Liste des points de **géoréférencement** avec leurs coordonnées
- Profil ICC
- Fichier de **calage** photogrammétrique au format TXT
- Photos avec paramètres d'**orientation** au format XML

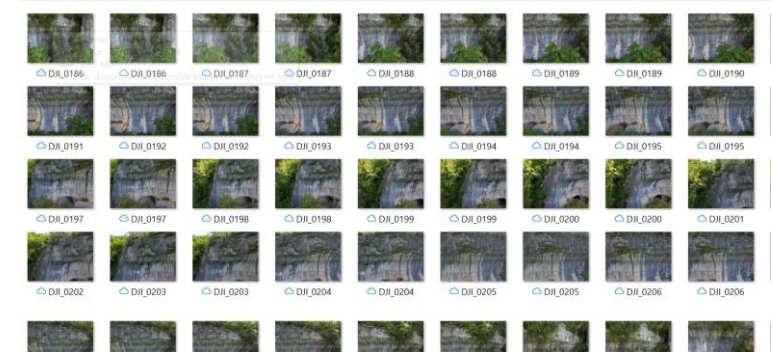


POINT RGF 93 Conique Conforme (Lambert 93) / NGF - IGN69			
NAME	X	Y	Z
POINT 0	544237.7400	6428345.0180	75.5
POINT 2	544246.3030	6428311.0200	77.0
POINT 3	544328.8500	6428307.8271	76.0
POINT 4	544329.2063	6428306.7303	76.6
POINT 5	544337.9503	6428306.6302	76.5
POINT 6	544340.5819	6428309.7300	79.0
POINT 7	544340.1990	6428370.2607	79.7
POINT 8	544337.7452	6428368.9410	76.3
POINT 9	544292.4680	6428191.6280	87.0
POINT 10	544494.9295	6428182.0355	112.4

Liste des points de géoréférencement



Cartes de diffusion



Données sources de photogrammétrie

LIVRABLES [2/2]

3. Orthophotos (si demandées)

- Aux formats PNG, JPG et PDF
- Avec leurs coordonnées 3D et leur position dans le bâtiment

4. Restitutions graphiques par dessin géométral (si demandées)

- Exploitable tels quels
- Aux formats DWG et PDF

5. Reportage photo ou visite virtuelle (panoramas 360°)

- Aux formats JPG ou TIFF pour les photos
- Au format VTP (3D Vista) pour la visite virtuelle

6. Rapport d'exécution illustré

- Flux global, matériels et logiciels utilisés
- Plan d'acquisition, surtout en photogrammétrie
- Tableaux d'assemblage, métadonnées et parodonnées
- Choix techniques, difficultés rencontrées et palliatifs
- Actions pour appliquer la politique RSE

→ Livraison sur serveur ftp (si possible) et sur disques durs SSD



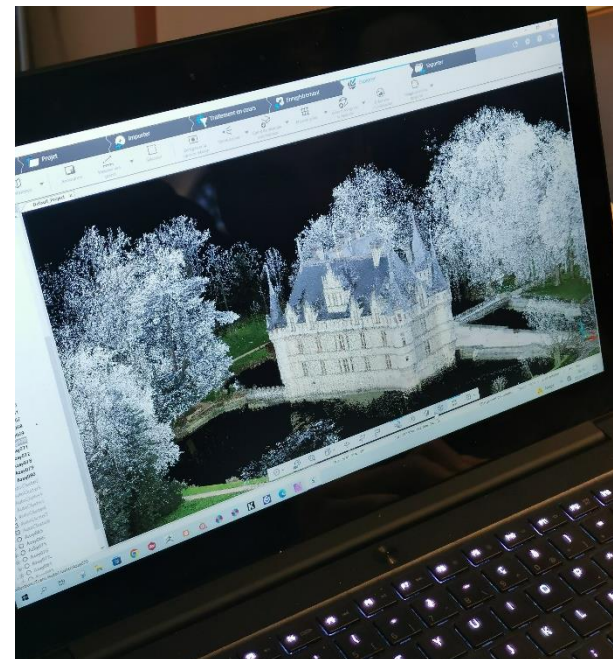
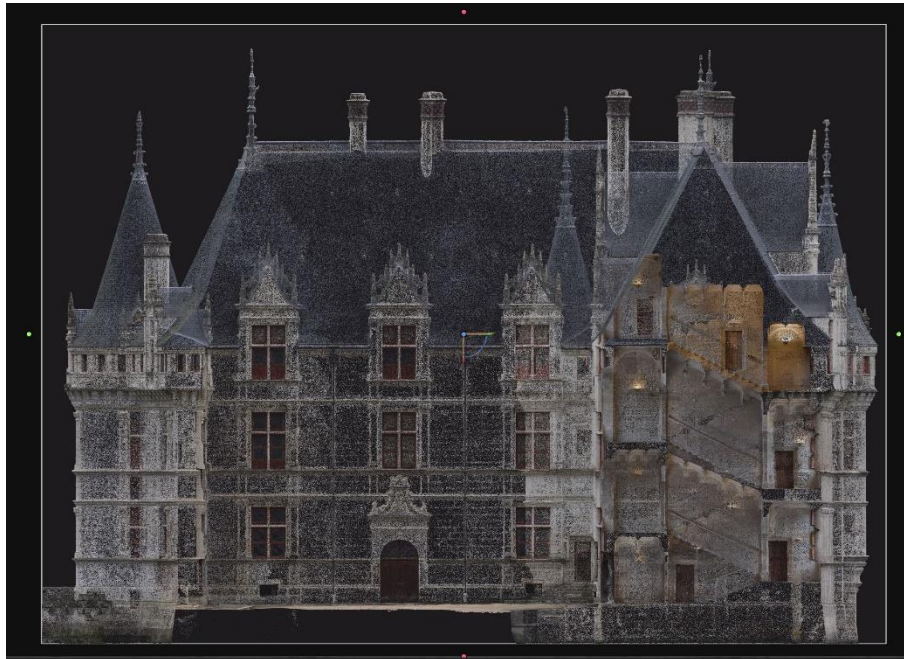
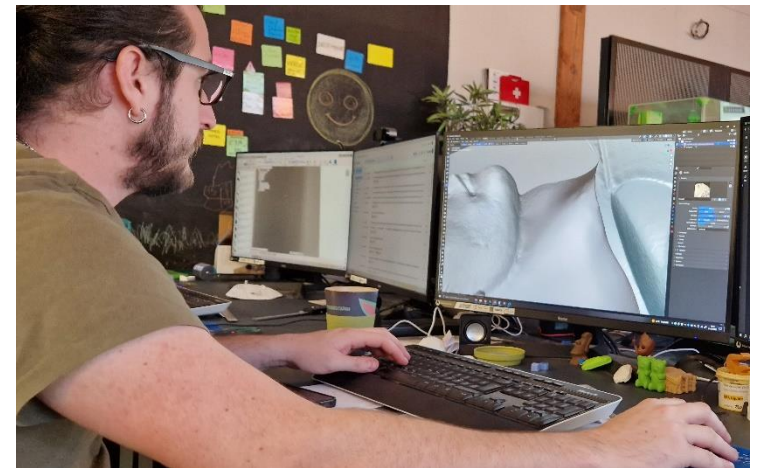
Exemple d'orthophoto



Exemple de visite virtuelle de repérage

DROITS D'EXPLOITATION

- **Plusieurs options**
 - Open source
 - Cession partielle : distinguer les livrables si nécessaire
 - Cession totale au commanditaire
- **Ne pas oublier de les mentionner !**
- Attention aux acquisitions non prévues au départ réalisées sur site

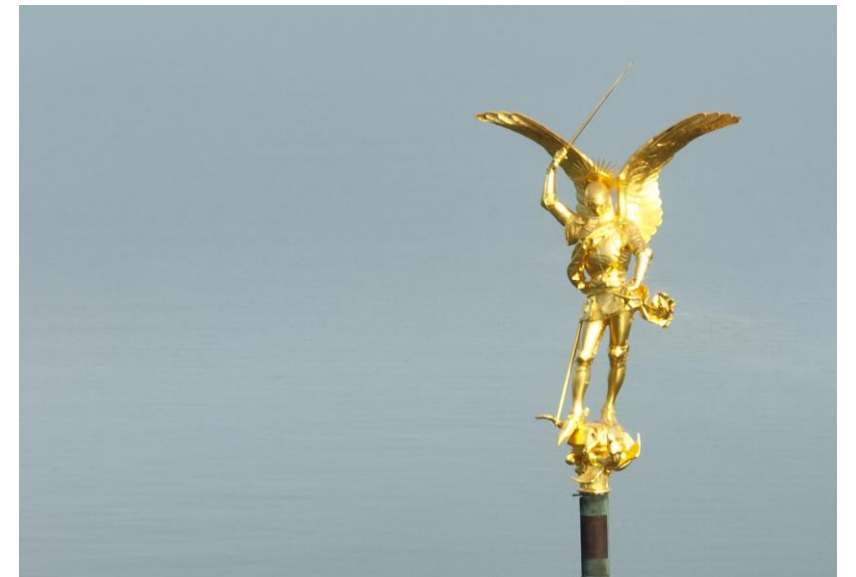


PROPOSITION TECHNIQUE ET FINANCIÈRE

- **Proposition technique**
 - Flux global, méthodologies proposées et motivation : acquisition, géoréférencement, textures, fidélité colorimétrique
 - Matériels prévus pour acquisitions terrestre, aérienne et topographique : focales, taille des capteurs, marges d'erreur...
 - **Résolutions** (cm ou mm/pixel) par zone
 - Photogrammétrie : taux de recouvrement, estimation du nombre d'images, distances de vol
 - **Spécificités** du site et propositions pour les traiter
 - Calendrier, personnel et **compétences** mises en œuvre selon les phases
 - **Réserves** par rapport aux besoins exprimés
 - Références
 - Déclinaison de la politique RSE
- **Proposition financière**
 - Découpage par **phases** (préparation, acquisition, reconstruction...)
 - Prise en compte d'**itérations** (échantillonnage, textures...)



Gouttes d'eau et concrétions à Font-de-Gaume : un défi pour beaucoup de scanners



L'archange du Mont-Saint-Michel : un défi pour la photogrammétrie

POINTS CLÉS

▪ Besoins

- Quel usage principal ? Quel degré de détail ? Quels droits ?
- Quels usages ultérieurs ? **Géoréférencer** de préférence
- Quel budget pour assurer des usages ultérieurs ?
- Quels utilisateurs finaux ? Quelles formations ?

▪ Méthodologie

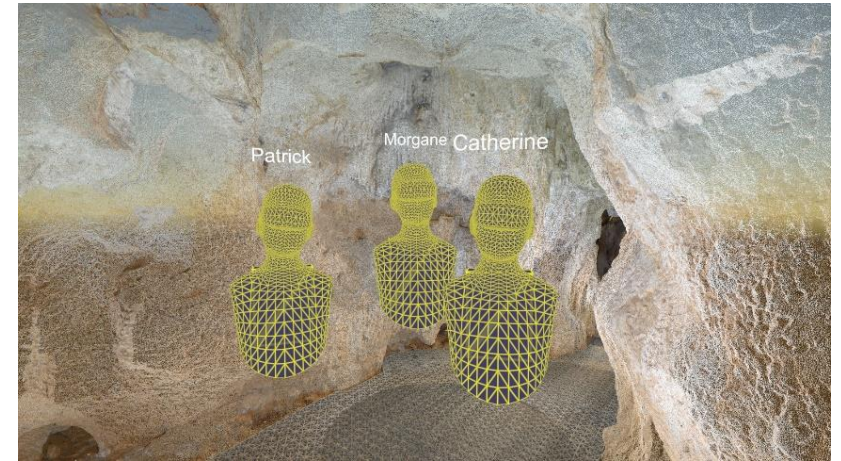
- Quelles contraintes et spécificités du site ?
- Comment découper mon site et nommer les parties ?
- Quelle référence visuelle initiale ?
- Comment visualiser et contrôler les livrables ?

▪ Livrables

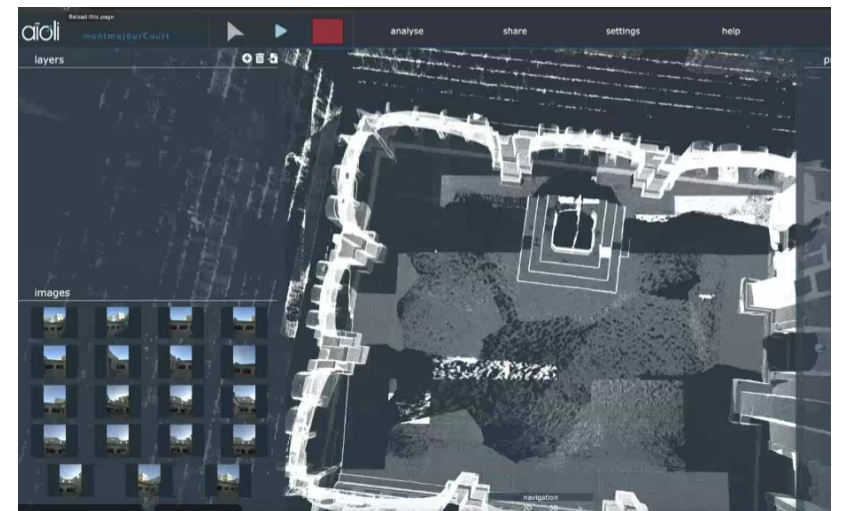
- Demander les **données brutes** d'acquisition et les photos
- Demander **rappports** d'exécution et de traitement
- Demander à livrer a minima sur disque dur SSD

▪ Propositions techniques et financière

- Exiger des **réserves** et prévoir des **itérations** (échantillonnage, textures...)



Promenade dans le nuage de points de Font-de-Gaume : un usage imprévu !



Vérification de la qualité du nuage de points de l'abbaye de Montmajour

REMERCIEMENTS



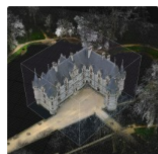
- **Contributeurs présents à la revue du 25 Juillet 2024**
 - Centre des monuments nationaux :
 - Mission Innovation : Patrick Bergeot, Morgane Estavoyer
 - Direction des publics : Alexandra Dromard
 - Direction de la conservation : Maud Brochard, Sophie Izac, Antoine Léonet
 - Développement économique : Catherine Erneux
 - Centre National de Préhistoire : Priscilia Barbuti, Oscar Fuentes, Geneviève Pinçon
 - Centre Pompidou : Antoine Immarigeon, Margaux Caron
 - DRAC Hauts de France : Frédéric Nowicki
 - Ministère de la Culture, Service du Numérique : Héloïse Biard
 - Musée d'Archéologie Nationale : Thomas Sagory
 - Paris Musées : Scarlett Greco
- **Contributeurs excusés**
 - CNRS : Livio de Luca
 - Consortium 3DHN : Florent Laroche

MERCI !

Patrick Bergeot
Maud Brochard
Morgane Estavoyer
Antoine Léonet

CENTRE DES MONUMENTS NATIONAUX

<https://www.monuments-nationaux.fr/innovation/pia4-cmn-numerique>



NEWSLETTER

Programme « CMN Numérique »

Comment valoriser les représentations numériques du patrimoine ? Notre programme a 3 ans pour y répondre !



De Centre des monuments nationaux
38 117 abonnés

Publication toutes les deux semaines
15 775 abonnés



www.monuments-nationaux.fr

@leCMN #leCMN