



AIPCN Section française



# Journées Méditerranéennes de l'AIPCN et Assises du port du futur du Cerema 25 au 27 octobre 2023 à Sète (France)

Création de jumeaux numériques d'infrastructures existantes et suivi d'ouvrages : état de l'art des techniques

Hélène Macher, INSA Strasbourg, laboratoire ICube



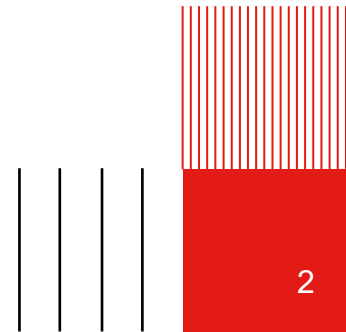
Yvon Kila, Ferrcad





# Introduction

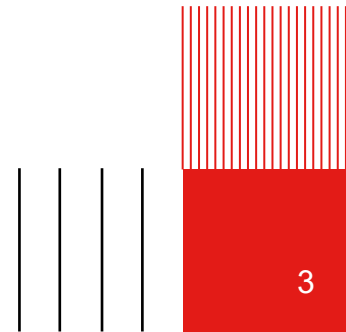
- Intérêt grandissant porté aux maquettes numériques pour la Gestion Exploitation Maintenance (GEM) d'infrastructures
- Différentes techniques de numérisation 3D d'infrastructures pour :
  - + La création de BIM « tels que construits »
  - + Le suivi de chantier
  - + La réception d'ouvrages
- Mise en place de capteurs pour le suivi en temps réel des infrastructures et la maintenance prédictive → jumeaux numériques

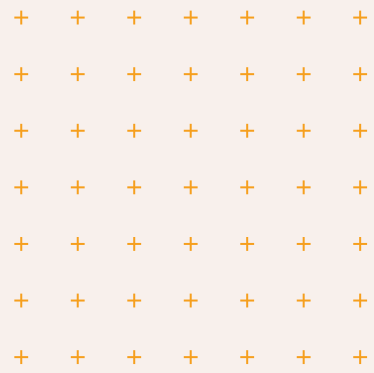




# Sommaire de la présentation

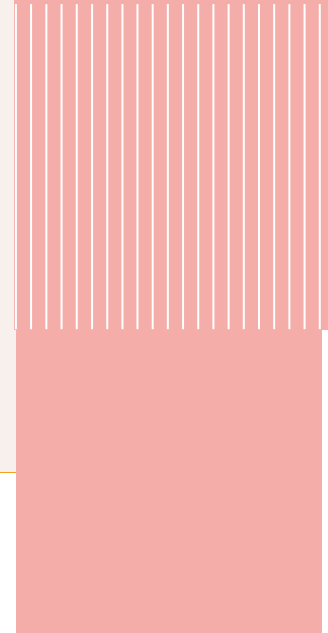
1. Scan-to-BIM : création de maquettes numériques d'infrastructures maritimes existantes
2. Scan-vs-BIM : numérisation d'infrastructures pour le suivi de chantier et la réception d'ouvrages
3. Mise en place de capteurs pour le suivi d'infrastructures
4. Projet *Design By Data* porté par l'entreprise Ferrcad





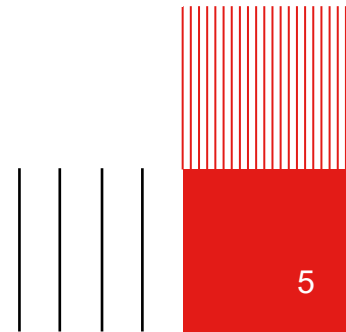
# 1. Création de maquettes numériques d'infrastructures maritimes existantes

Techniques d'acquisition et processus scan-to-BIM





# Les techniques d'acquisition de la géométrie 3D

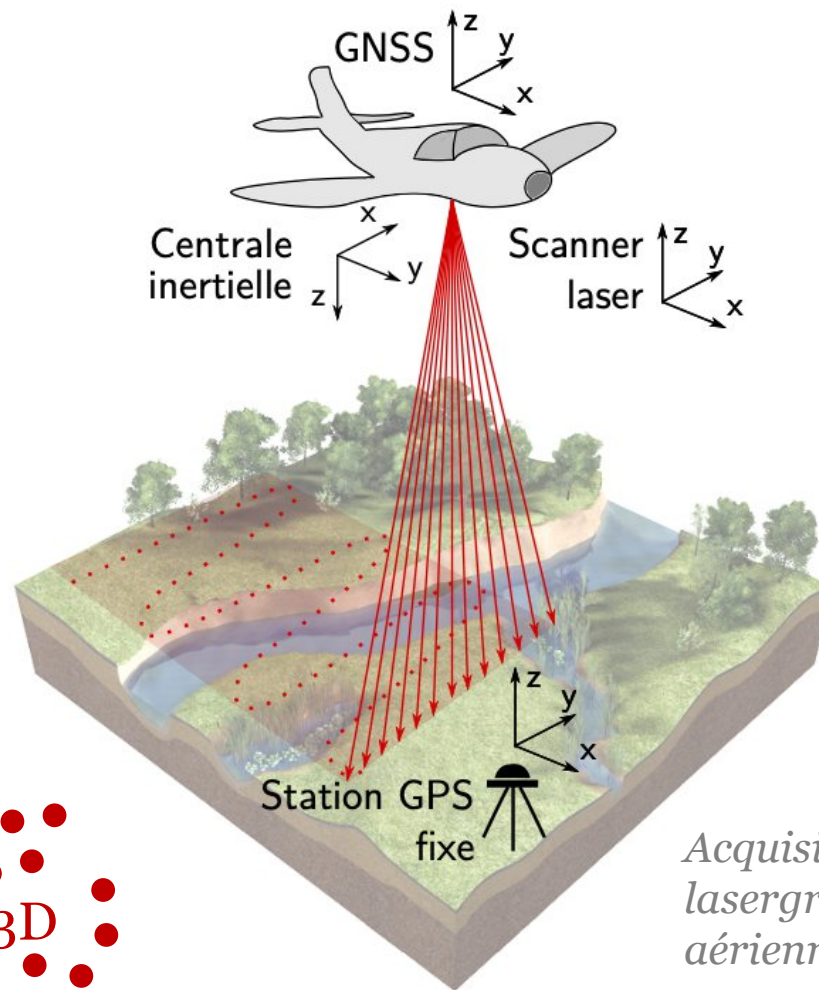




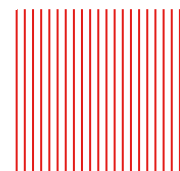
# Les techniques d'acquisition de la géométrie 3D

## Parties émergées

- Photogrammétrie et lasergrammétrie aériennes
  - + Acquisition de zones étendues
  - + Acquisition à distance
- Photogrammétrie et lasergrammétrie terrestres
  - + Niveau de détail important



*Acquisition par  
lasergrammétrie  
aérienne*





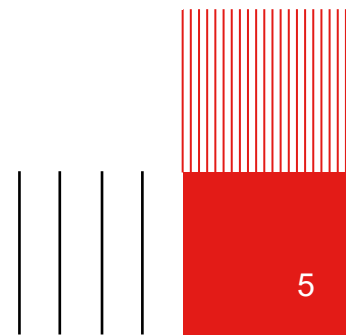
# Les techniques d'acquisition de la géométrie 3D

## Parties émergées

- Photogrammétrie et lasergrammétrie aériennes
  - + Acquisition de zones étendues
  - + Acquisition à distance
- Photogrammétrie et lasergrammétrie terrestres
  - + Niveau de détail important

## Parties submergées

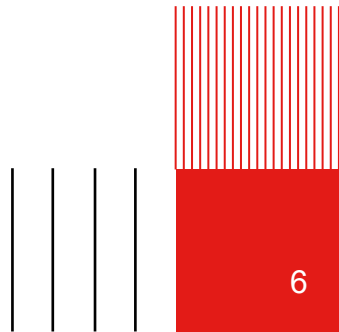
- Bathymétrie LiDAR aéroporté
  - + Mesure dans des eaux peu profondes
- Echosondeurs multifaisceaux
  - + Informations en eaux profondes
- Photogrammétrie et lasergrammétrie sous-marines
  - + Techniques adaptées seulement aux eaux claires et non turbides





# Le processus scan-to-BIM : du nuage de points à la maquette numérique

Processus largement manuel, chronophage et subjectif → **Automatisation**







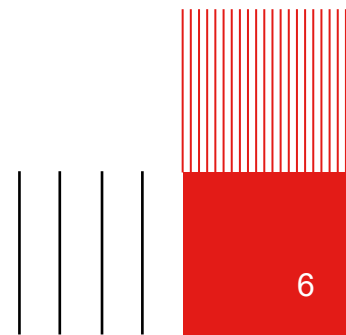
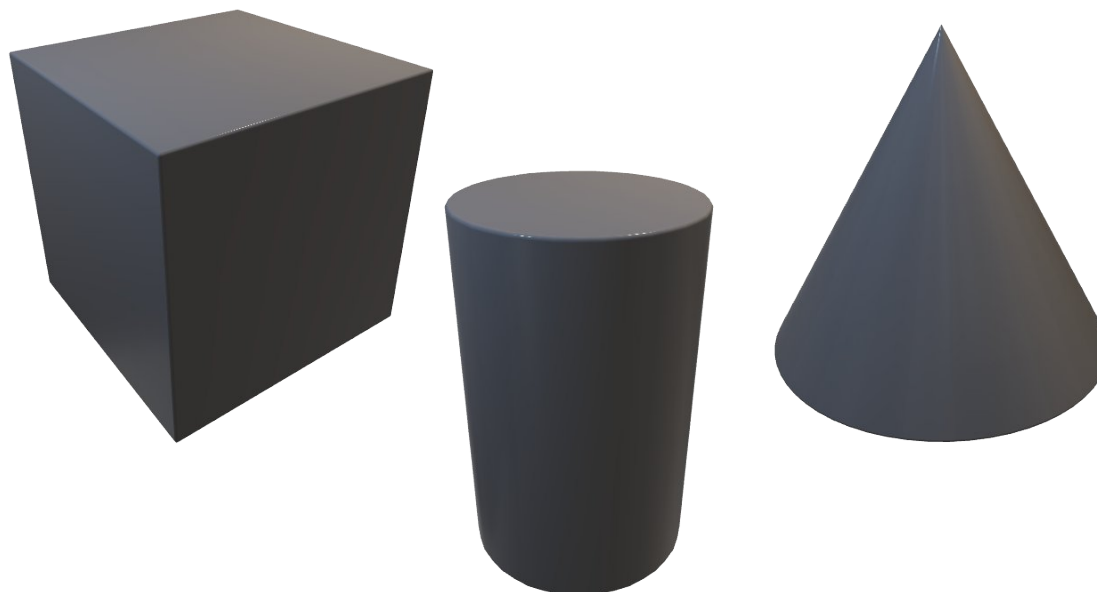
# Le processus scan-to-BIM : du nuage de points à la maquette numérique

Processus largement manuel, chronophage et subjectif → **Automatisation**

## Méthodes basées sur des modèles géométriques

Méthodes les plus anciennes et les plus éprouvées

Éléments à reconnaître : formes géométriques simples, des modèles CAD, des objets d'un modèle BIM





# Le processus scan-to-BIM : du nuage de points à la maquette numérique

Processus largement manuel, chronophage et subjectif → **Automatisation**

## Méthodes basées sur des modèles géométriques

Méthodes les plus anciennes et les plus éprouvées

Éléments à reconnaître : formes géométriques simples, des modèles CAD, des objets d'un modèle BIM

## Méthodes basées sur des descripteurs de points d'intérêts

Fréquemment employées dans le domaine de la robotique

Descripteurs locaux et globaux





# Le processus scan-to-BIM : du nuage de points à la maquette numérique

Processus largement manuel, chronophage et subjectif → **Automatisation**

## Méthodes basées sur des modèles géométriques

Méthodes les plus anciennes et les plus éprouvées

Éléments à reconnaître : formes géométriques simples, des modèles CAD, des objets d'un modèle BIM

## Méthodes basées sur des descripteurs de points d'intérêts

Fréquemment employées dans le domaine de la robotique

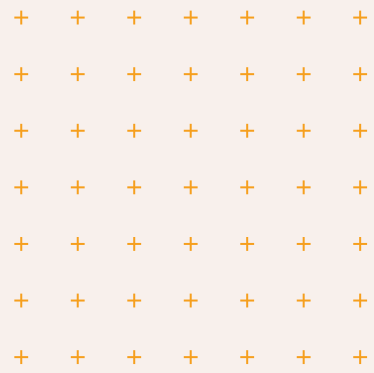
Descripteurs locaux et globaux

## Méthodes basées sur le *deep learning*

Méthodes les plus récentes

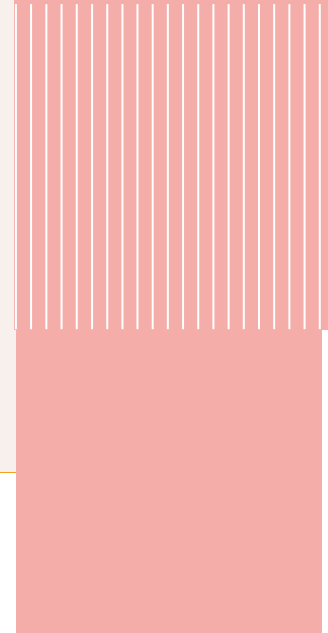
Nombreuses limitations pour les scènes 3D complexes





## 2. Numérisation d'infrastructures pour le suivi de chantier et la réception d'ouvrages

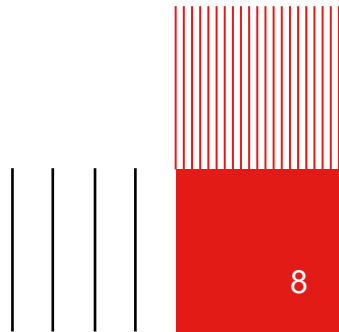
Processus Scan-vs-BIM et applications





# Le processus scan-vs-BIM

- Comparaison entre un nuage de points et un modèle « tel que conçu » et analyse des écarts

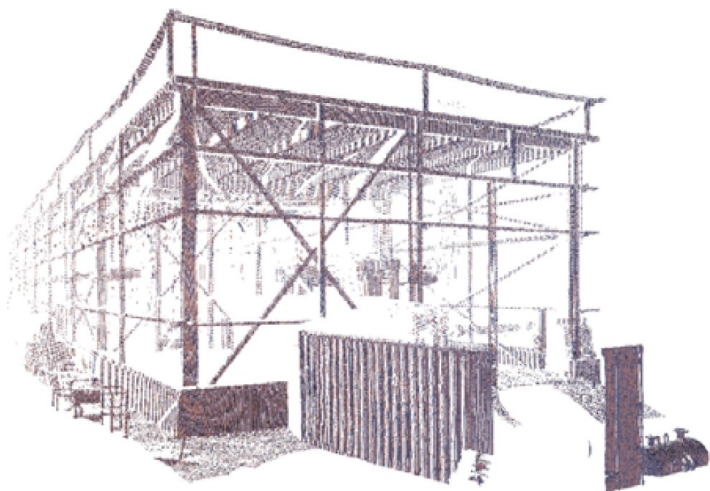




# Le processus scan-vs-BIM

- Comparaison entre un nuage de points et un modèle « tel que conçu » et analyse des écarts
- Applications :
  - + Suivi de l'avancement de travaux : levé d'un chantier à un instant t et comparaison avec une maquette existante

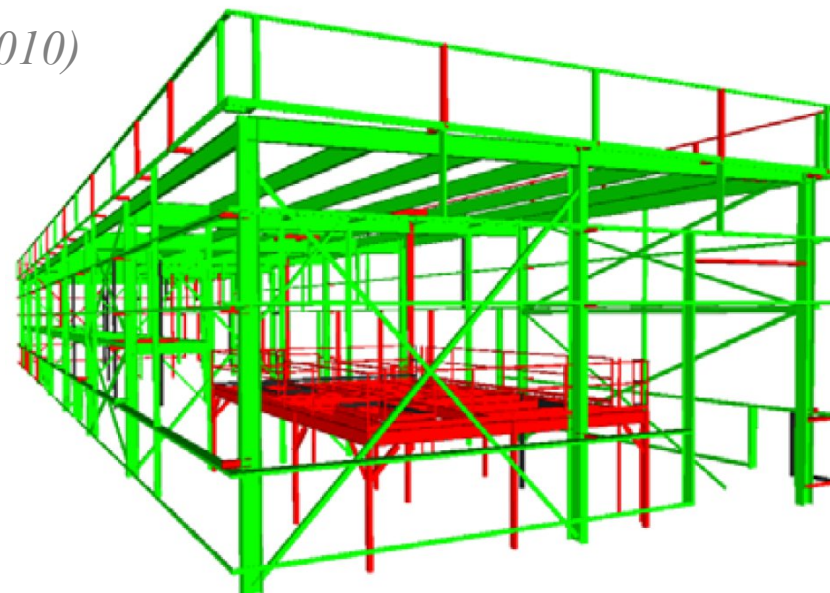
*Reconnaissance automatique d'objets dans un nuage de points (Bosché, F., 2010)*



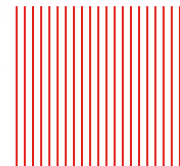
Nuage de points



Modèle 3D tel que conçu



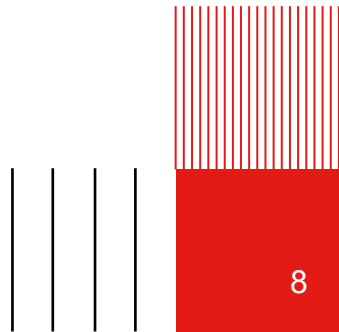
Reconnaissance des objets restant à construire (dans le modèle 3D)





# Le processus scan-vs-BIM

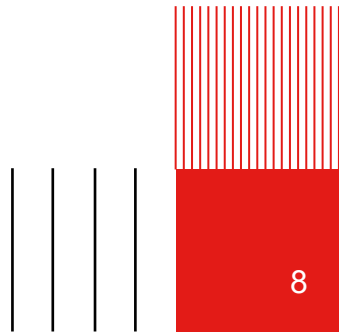
- Comparaison entre un nuage de points et un modèle « tel que conçu » et analyse des écarts
- Applications :
  - + Suivi de l'avancement de travaux : levé d'un chantier à un instant t et comparaison avec une maquette existante
  - + Vérification des tolérances d'exécutions d'ouvrages : analyse des écarts entre modèle et nuage de points pour évaluer la qualité de la construction



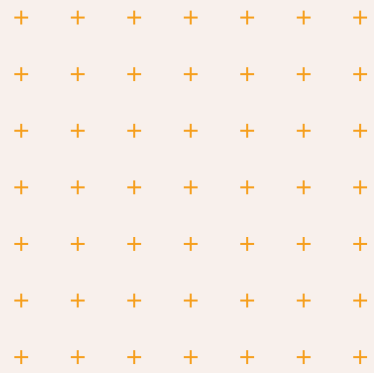


# Le processus scan-vs-BIM

- Comparaison entre un nuage de points et un modèle « tel que conçu » et analyse des écarts
- Applications :
  - + Suivi de l'avancement de travaux : levé d'un chantier à un instant t et comparaison avec une maquette existante
  - + Vérification des tolérances d'exécutions d'ouvrages : analyse des écarts entre modèle et nuage de points pour évaluer la qualité de la construction
  - + Mise à jour de maquettes numériques à l'issue de travaux (récolement)

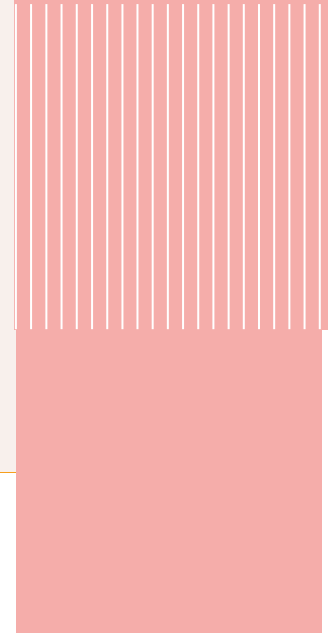






# 3. Mise en place de capteurs pour le suivi d'infrastructures

BIM et jumeau numérique



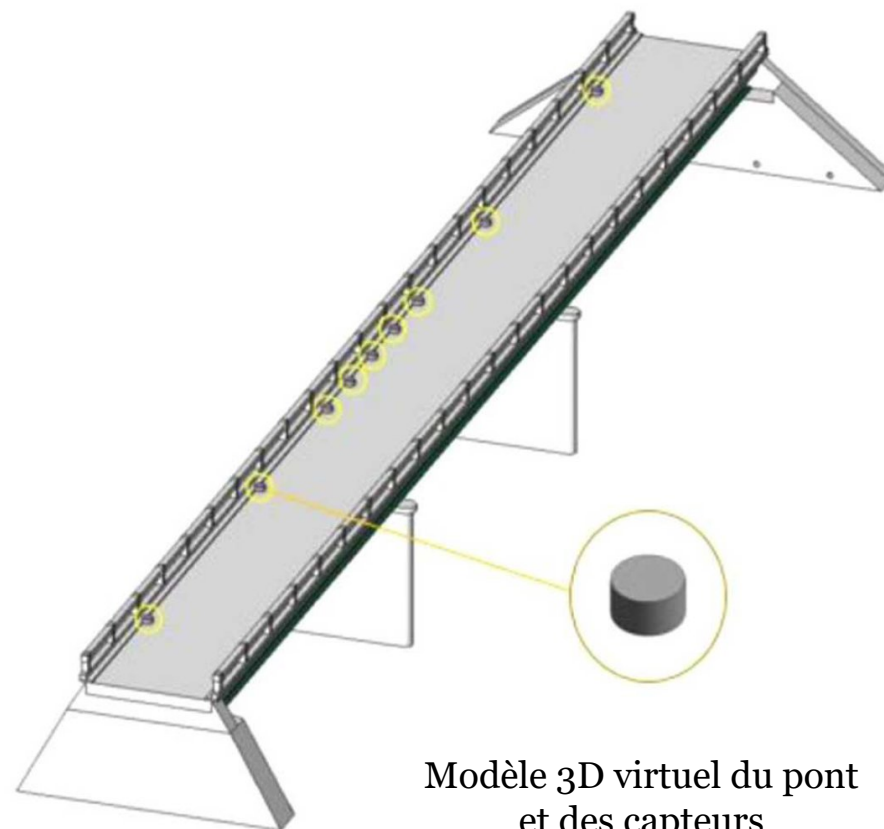


# Des capteurs pour le suivi des infrastructures

- Récupération en temps réel des informations relatives à une infrastructure
- Plusieurs types de capteurs utilisés en fonction des phénomènes à étudier



Capteurs installés sur le pont



Modèle 3D virtuel du pont et des capteurs

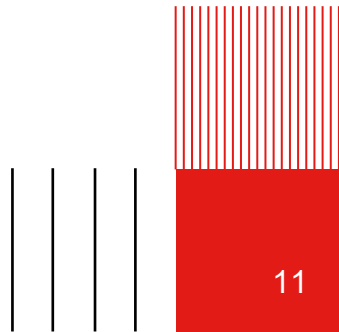




# Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?

« Combinaison d'un modèle informatique et d'un système du monde réel, conçu pour surveiller, contrôler et optimiser la fonctionnalité d'un actif »

- Un jumeau numérique englobe l'échange de données entre les objets physiques et numériques.
- Le modèle BIM est la base du jumeau numérique mais n'est pas un jumeau numérique.

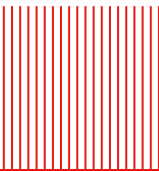


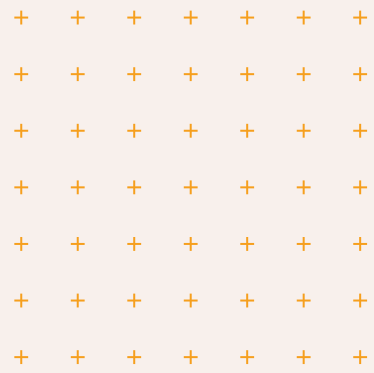


# Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?

« Combinaison d'un modèle informatique et d'un système du monde réel, conçu pour surveiller, contrôler et optimiser la fonctionnalité d'un actif »

- Un jumeau numérique englobe l'échange de données entre les objets physiques et numériques.
- Le modèle BIM est la base du jumeau numérique mais n'est pas un jumeau numérique.
- Avantages de l'utilisation d'un jumeau numérique :
  - + Evaluer précisément l'état actuel d'un actif et prévoir son évolution
  - + Réduire les risques de défaillance structurelle
  - + Réduire de manière significative les coûts de maintenance des infrastructures





## 4. Projet *Design By Data* porté par l'entreprise Ferrcad

Automatisation du processus scan-to-BIM  
et du processus scan-vs-BIM

# Création d'une maquette numérique à partir d'un nuage de points : cas d'étude du projet de reconstruction d'un quai à la Réunion

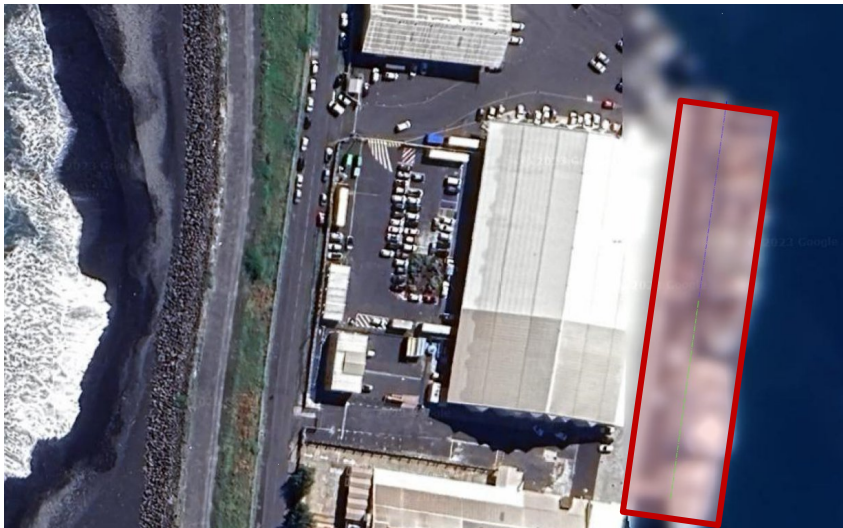
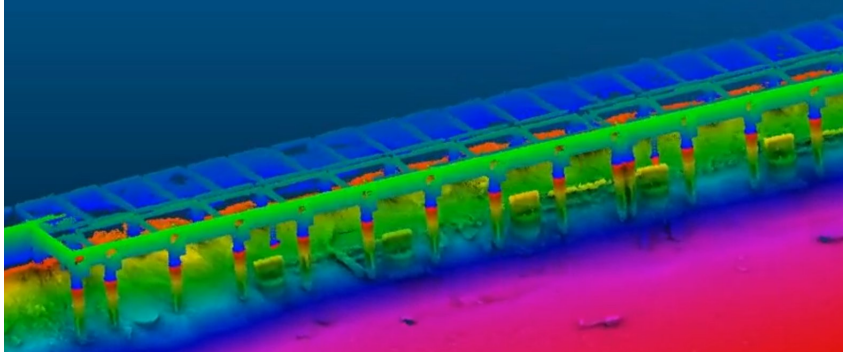
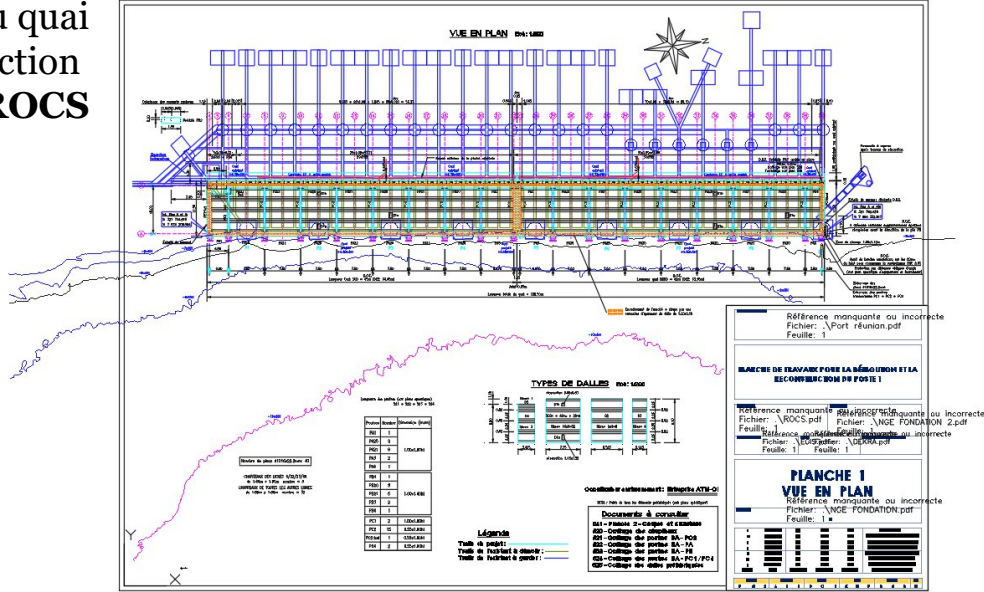
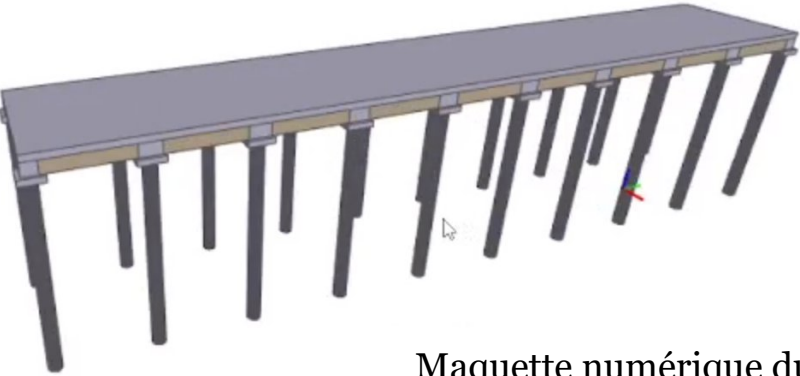


Photo du projet

Plan de récolement du quai après sa construction  
**Source : ROCS**



Nuage de point du quai après construction  
**Source : ID Océan**

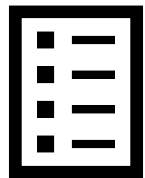


Maquette numérique du quai sur pieux  
 (Typo\_A1.5 du catalogue de Ferrcad)



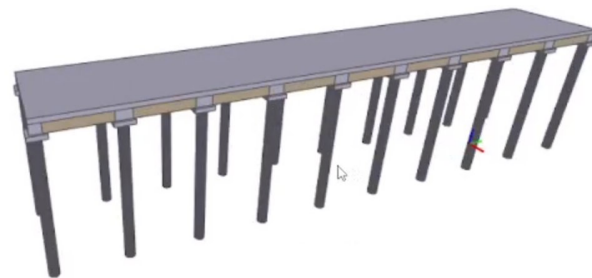
# Détection d'objets dans des nuages de points

## Application FerrR3D (Reconstruction 3D)

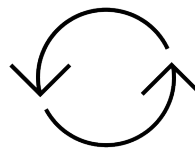


Catalogue  
de « Typos »

- paramètres géométriques
- paramètres sémantiques
- paramètres de dimensionnement



Aperçu au format IFC  
de la «Typo\_A1.5»



### Reconnaissance des « Typos » sélectionnées dans le nuage de points

- + Par un processus progressif et itératif
- + Mise à jour automatique des paramètres des objets BIM

*Nota : les paramètres sont renseignés à partir  
des informations collectées dans le D.O.E*

# Réception d'ouvrage à partir d'un nuage de points : cas d'étude du projet ATLAS 4300T

- Projet d'aménagement neuf
- Un ascenseur à bateaux construit pour La Ciotat Shipyards (capacité de levage de 4300 tonnes, 7 emplacements à sec)
- L'entreprise Ferrcad était chargée de l'AMO BIM du projet.

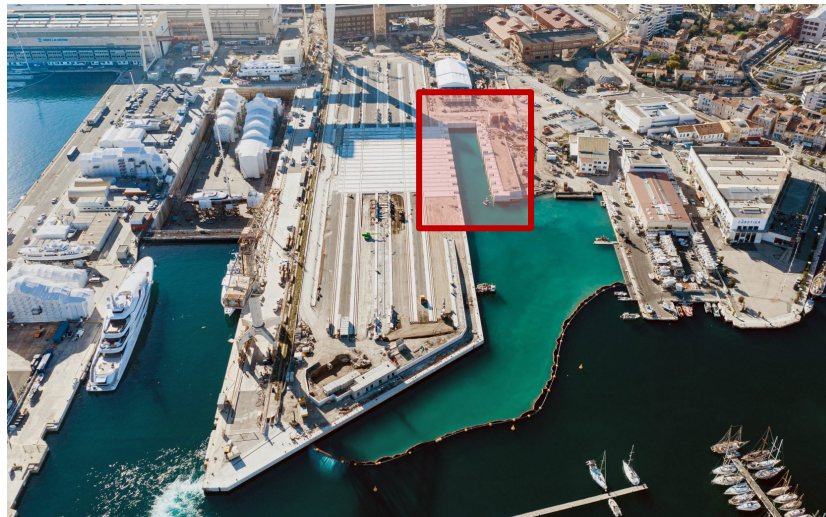
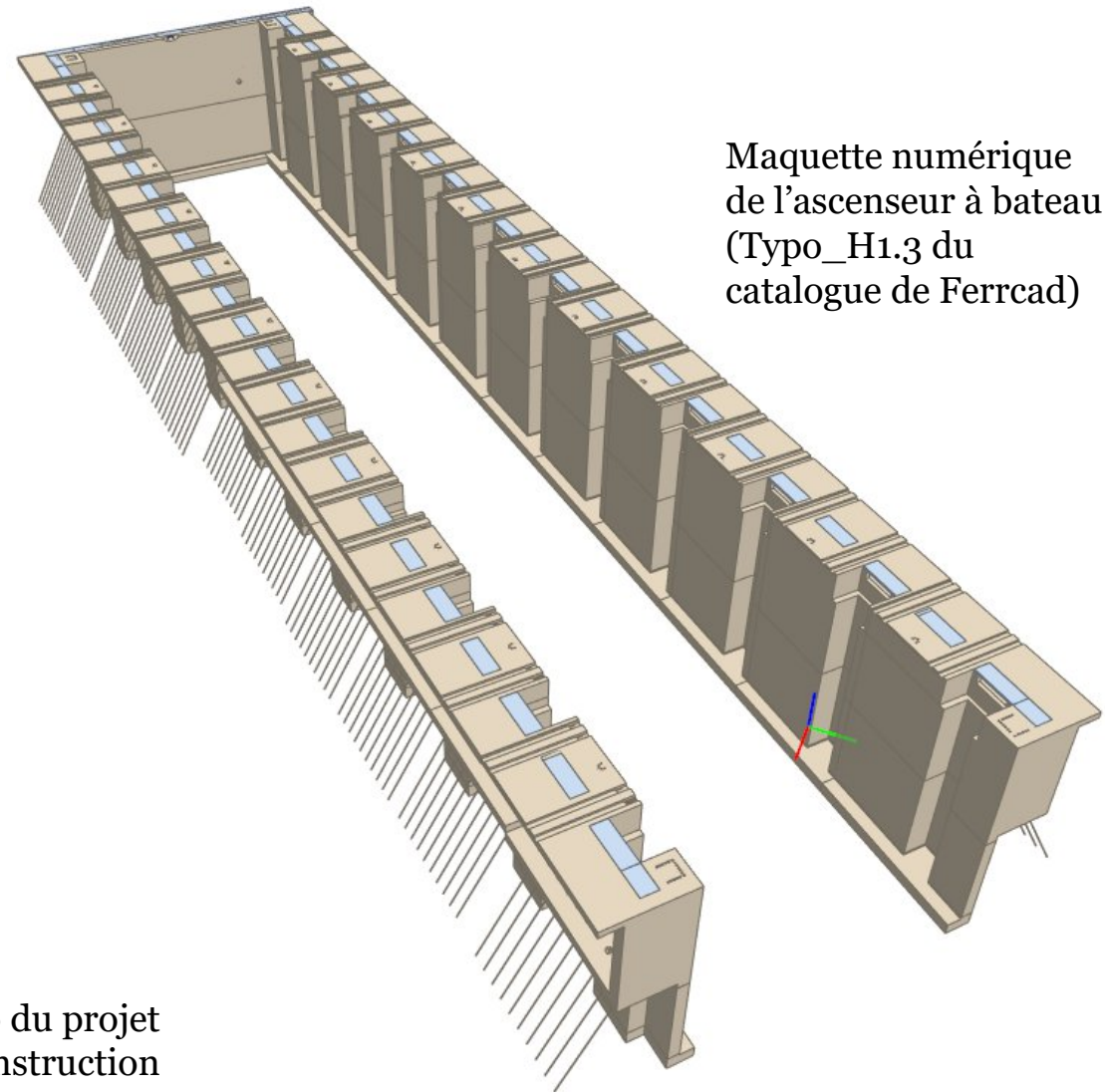


Photo du projet en construction



Maquette numérique de l'ascenseur à bateau (Typo\_H1.3 du catalogue de Ferrcad)

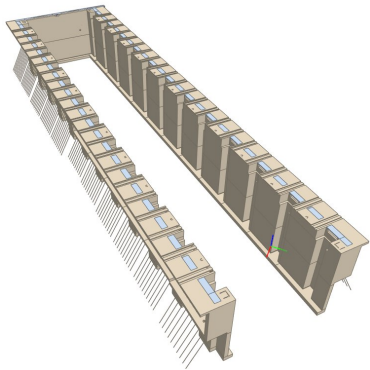


# Réception d'ouvrage à partir d'un nuage de points : cas d'étude du projet ATLAS 4300T

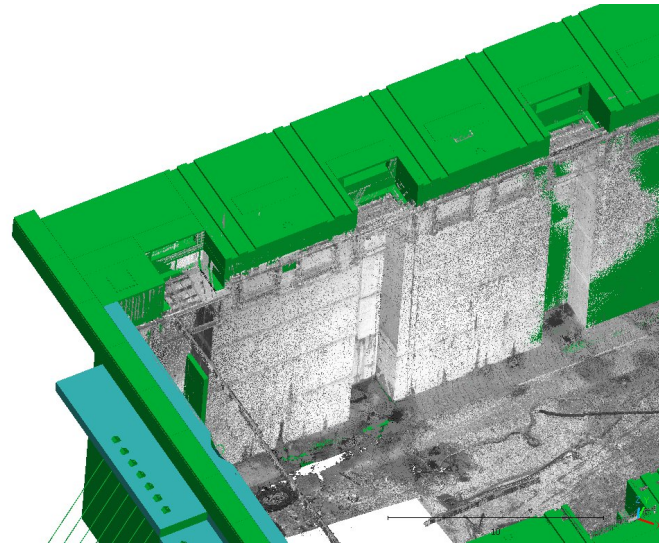
## Application FerrSRO (Suivi et Réception d'Ouvrage)



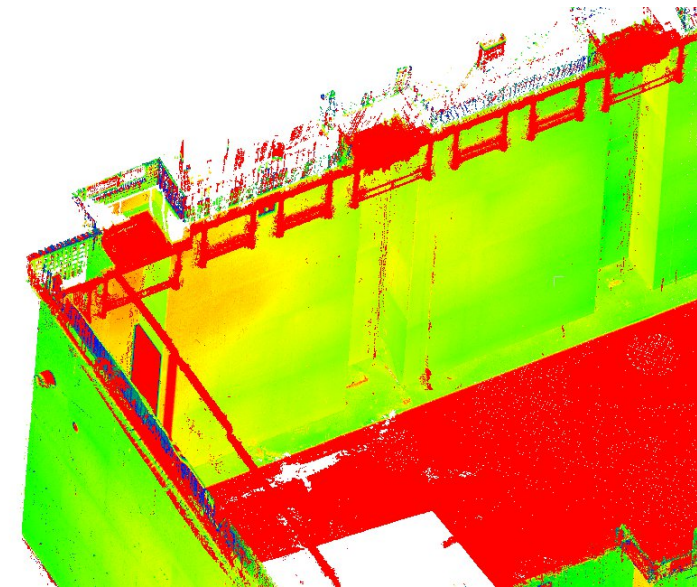
Nuage de points 3D



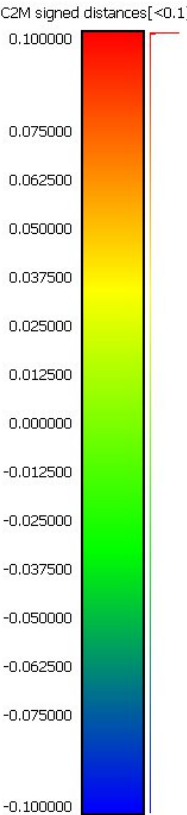
Maquette numérique (Typo\_H1.3)



Recalage entre nuage de points et maquette (recalage grossier puis fin)



Calcul et analyse des écarts entre les points et la maquette





AIPCN Section française



# Journées Méditerranéennes de l'AIPCN et Assises du port du futur du Cerema 25 au 27 octobre 2023 à Sète (France)

## Merci de votre attention !

Bosché, F. (2010). Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of as-built dimensions for dimensional compliance control in construction. *Advanced engineering informatics*, 24(1), 107-118.

Singh, P., & Sadhu, A. (2020). System identification-enhanced visualization tool for infrastructure monitoring and maintenance. *Frontiers in Built Environment*, 6, 76.