

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

LA NUMÉRISATION DU PATRIMOINE GÉNIE CIVIL AU SERVICE DE LA MAINTENANCE

Journée Technique

MARDI 5 Novembre 2024

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

en collaboration avec

AFGC
Association Française de Génie Civil

PIARC France
ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

TERMINOLOGIE, TECHNOLOGIES, ÉTAT DE L'ART DE LA NUMÉRISATION À DIFFÉRENTES ÉCHELLES

KATIA MIRANDE, PIERRE CHARBONNIER
CEREMA, EQUIPE PROJET ENDSUM

Journée Technique
MARDI 5 Novembre 2024
FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

en collaboration avec

AFGC
Association Française de Génie Civil

PIARC France
ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS

Sommaire



- **Terminologie**
  La numérisation, pour quoi faire ?
  La numérisation, la digitalisation, le BIM, le jumeau numérique…
- **Technologies**
  Les principales techniques de numérisation 3D et leurs capacités
- **Conclusion**
  Les possibilités offertes
  Numérisations enrichies

Terminologie

Digitalisation vs. Numérisation

Numérisation : conversion de l'analogique au numérique

- Numérisation de fonds documentaire
- Numérisation d'ouvrages ou de structures

Digitalisation : utilisation des technologies numériques pour produire de la valeur

- Numérisation des données
- Informatisation / dématérialisation des procédés
- Visualisation / analyse de données
- Intelligence artificielle



Source : https://le-consultant-digital.com

La numérisation des ouvrages

Quelle numérisation ?

- La photographie numérique : établir des vues, éventuellement calibrées, de l'ouvrage, pour en tirer des informations 2D ou des rendus visuels
- La **numérisation 3D** : relever l'information géométrique d'un ouvrage existant et la convertir sous forme numérique
- On peut numériser d'autres informations, avec tous types de capteurs

Quel « produit » 3D, pour quoi faire ?

- La 3D « brute » : mesurer, comparer
- Les modèles maillés : visualiser, interpréter
- La maquette numérique : interagir
- Le jumeau numérique : simuler, prévoir



IMGC

La 3D brute

Points et nuages de points

Visualisation

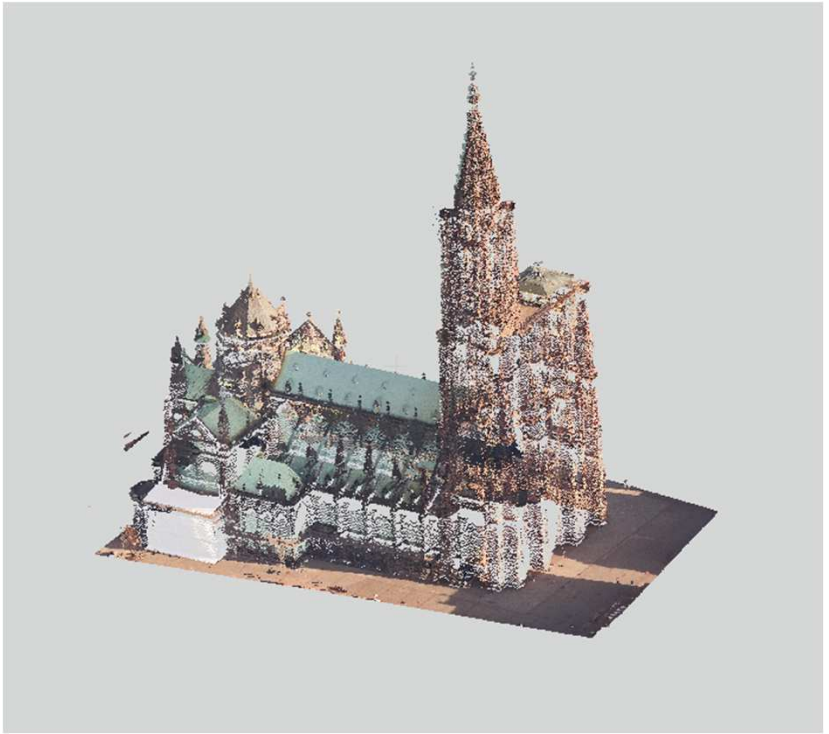
- Colorisation possible
- Pas de sémantique

Mesure

- Positions
- Distances entre points
- Profilométrie

Comparaison

- Nuage-à-nuage



Données : https://data.strasbourg.eu

Exemple : nuage de points Lidar aéroporté de la cathédrale de Strasbourg (opendata Eurométropole de Strasbourg)

Les modèles maillés

Maillage des surfaces par des triangles

- Texturation possible (image)
- Pas de sémantique

Mesure

- Surface et volumes

Comparaison

- Nuage-à-maillage
- Maillage-à-maillage

Visualisation

- Immersive (rendu des volumes)
- Réalité augmentée





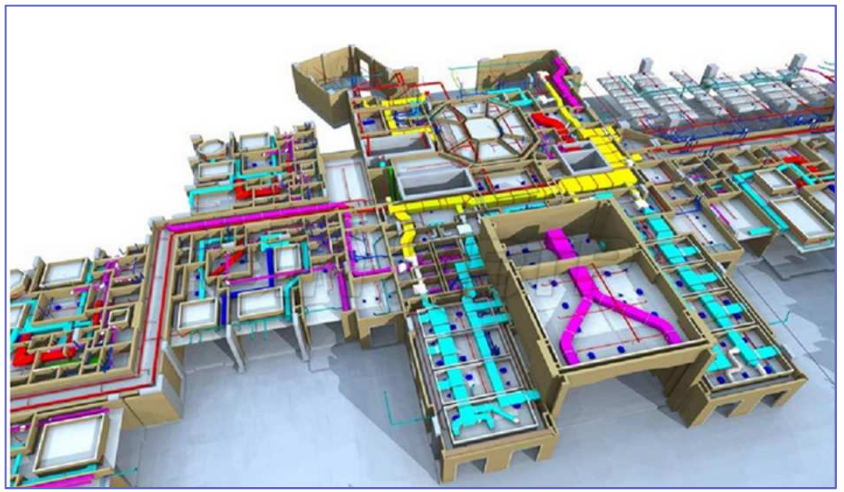
Données : https://odacit.3d.strasbourg.eu

Exemple : modèle maillé de la cathédrale de Strasbourg (détail)

La maquette numérique

Modèle géométrique avec différents degrés de complexité

- Du plan 2D à l'assemblage de primitives géométriques 3D



Source : https://bimbtp.com

Informations sémantiques

- Nécessite la segmentation des données 3D et l'ajustement de modèles
- Manuel ou semi-automatique
- Exemple de logiciels : TopoDOT, AUTODESK Docs, orbitGT
- L'automatisation reste un sujet de recherche

De la maquette au BIM

Building Information Modeling

- Processus collaboratif qui accompagne toute la vie de l'ouvrage
- Concerne tous les acteurs / corps de métier impliqués
- Centré sur un modèle numérique enrichi d'informations et de données

Maquette numérique acquise = modèle « tel qu'existant »



Source : https://defibim.com

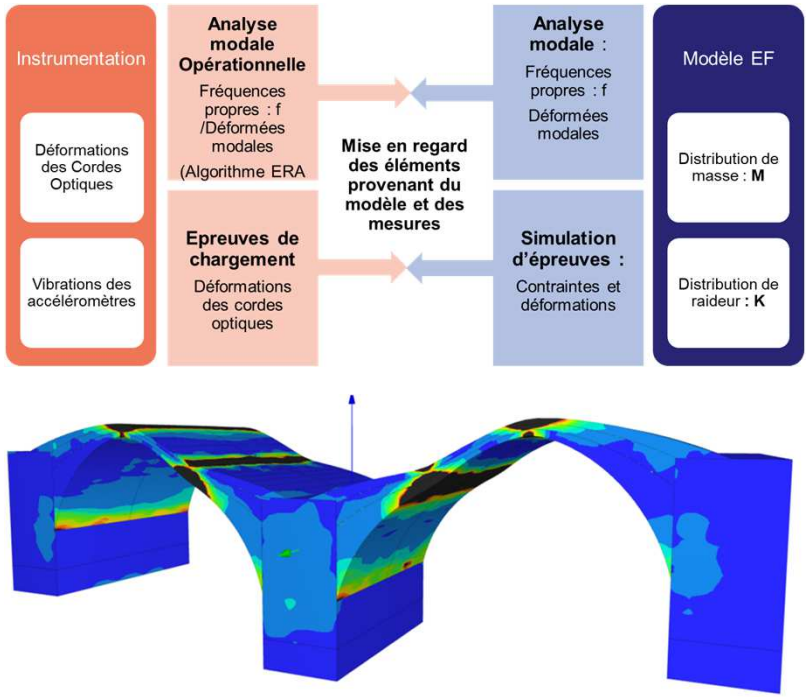
Maquette vs. jumeau numérique

Le jumeau numérique

- Représentation numérique réaliste d'un objet physique
- Modèle enrichi de données dynamiques issues de capteurs

Un modèle « exécutable »

- Permet de réaliser de la maintenance prédictive, de simuler des comportements, d'anticiper des évènements



Source : Projet GERICO, programme « Ponts connectés », SCE, OSMOS, STRAINS, Ville d'Angers, CD44

Technologies

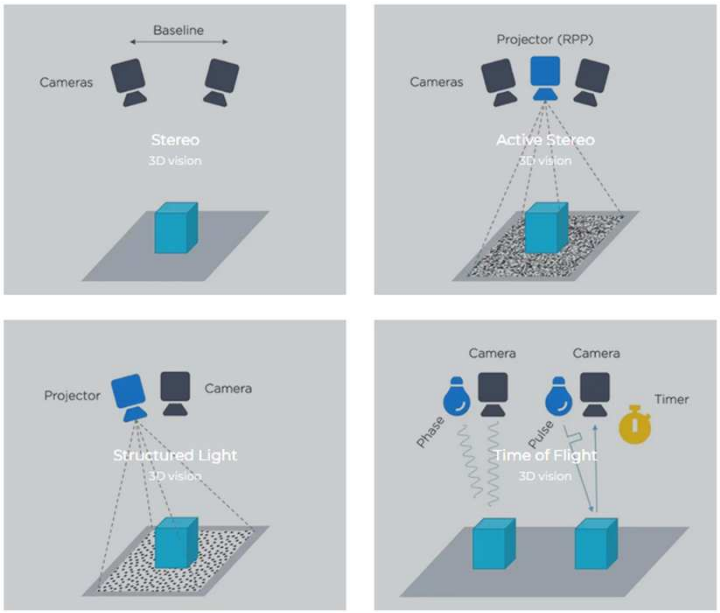
Principales modalités d'imagerie 3D

Télédétection : interagir avec la matière

- Ondes électromagnétiques
- Ondes sonores

Systèmes actifs

- Emission d'impulsions ou d'ondes
- 3D par mesure de distance + balayage
- Lumière structurée : analyse de la déformation d'un motif projeté



Source : https://www.zivid.com

Systèmes passifs

- Captation d'images (dans le domaine visible, le plus souvent)
- 3D par photogrammétrie, Visual SLAM, Structure from Motion
- *Approches de rendu visuel neuronal : NeRFs, Gaussian Splatting*

Exemples de systèmes actifs



Source : https://www.einfochips.com



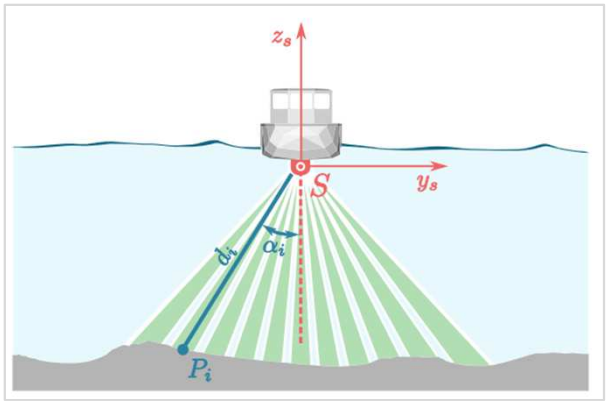
Source : https://www.cnetfrance.fr



© Pavemetrics



Source : https://leica-geosystems.com



(Moisan 2017)

IMGC

Techniques photogrammétriques

SLAM (***Simultaneous Localization And Mapping)***

SFM (***Structure from motion)***

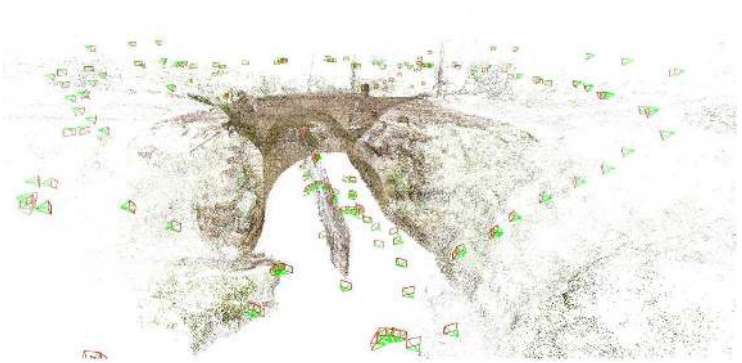
Principes

- Mise en correspondance robuste de points d'intérêt et ajustement de faisceaux
- Reconstruction à un facteur d'échelle près

Principaux logiciels

- Commerciaux : Agisoft Metashape, Photoscan, Pix4Dmapper
- Libres : Colmap, MicMac et Apero, Meshroom, VisualSFM, OrbSlam3







(Fauchard et al. 2013)

Consolidation/référencement

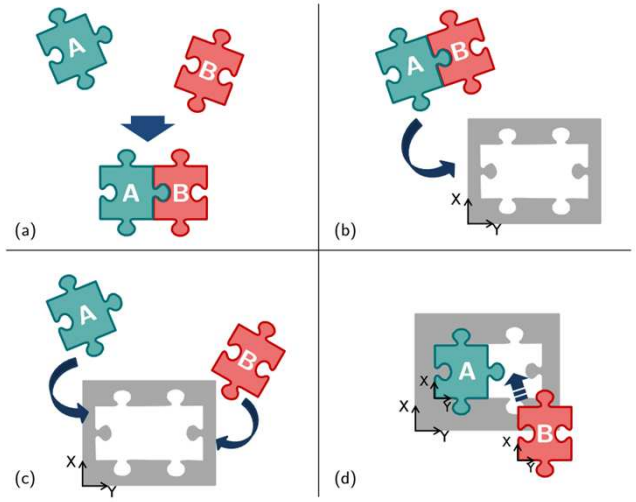
Positionner les données acquises, entre elles
ou dans un repère monde/chantier

La consolidation

- Nécessaire pour former un nuage de points
- Indispensable pour superposer des données différentes
- Obtenue à l'aide de capteurs (odomètres, IMU+CI+GNSS) ou calculée (SLAM, SFM)

Le référencement

- Relatif (abscisse curviligne dans un tunnel par ex.) par rapport à un système local, interne au projet (axes bâtiment)
- Absolu (géoréférencement) : les objets sont repérés dans un système de coordonnées connu, global (ex. WGS 84)



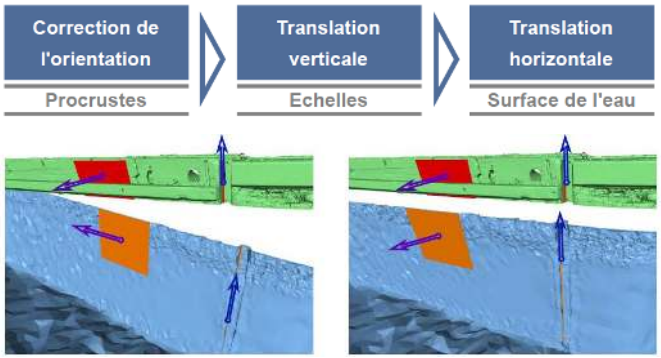
(Lachat 2019)

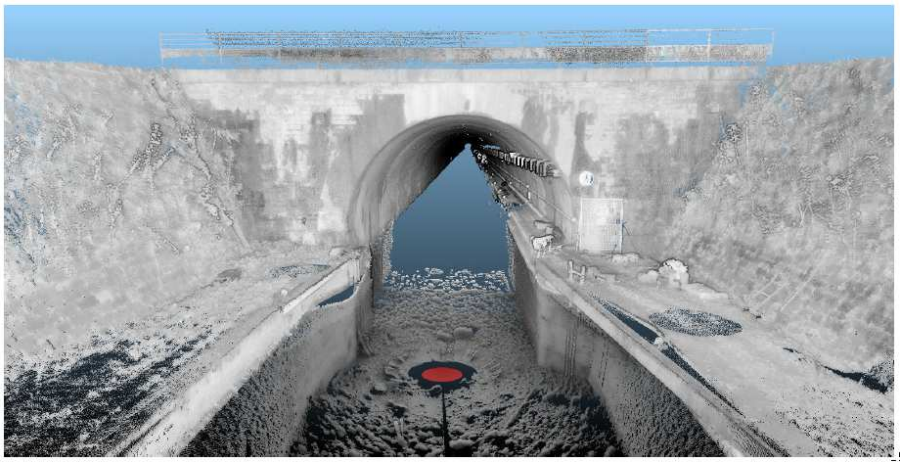
Recalage Laser / Sonar



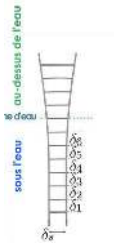


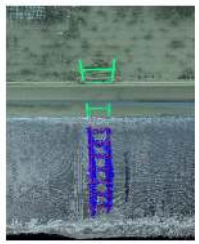
Reconstruction 3D d'une entrée de tunnel navigable à partir de données laser (TLS) et sonar (Sondeur multi-faisceau)





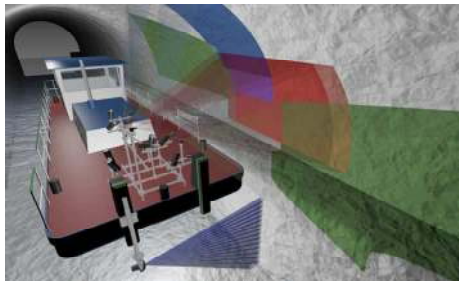
(Moisan 2017)

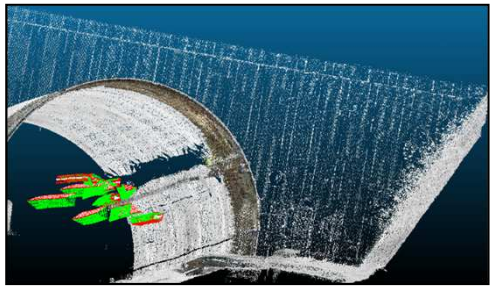




IMGC

Combinaison 3D sonar/image



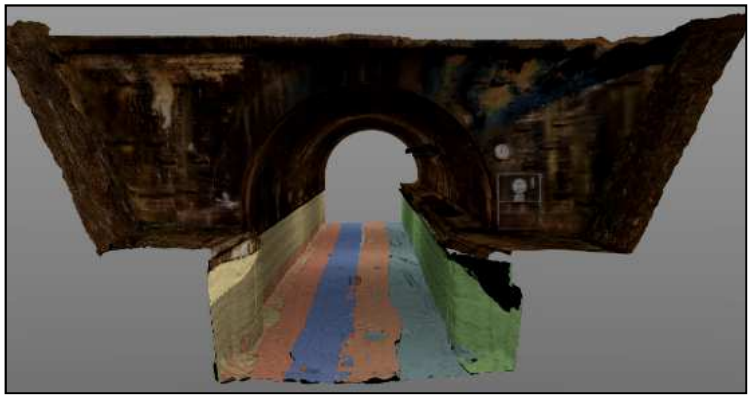


Modèle 3D voûte + trajectoire



Profils SONAR (SMF)





Fusion ➔ modèle « tube entier »

(Moisan et al 2021)

Modélisation « tube entier » des tunnels navigables, quand photogrammétrie et topographie pallient l'absence de GPS pour la cartographie mobile

La mise en œuvre

Poste fixe (stations), portés, embarqués sur véhicules



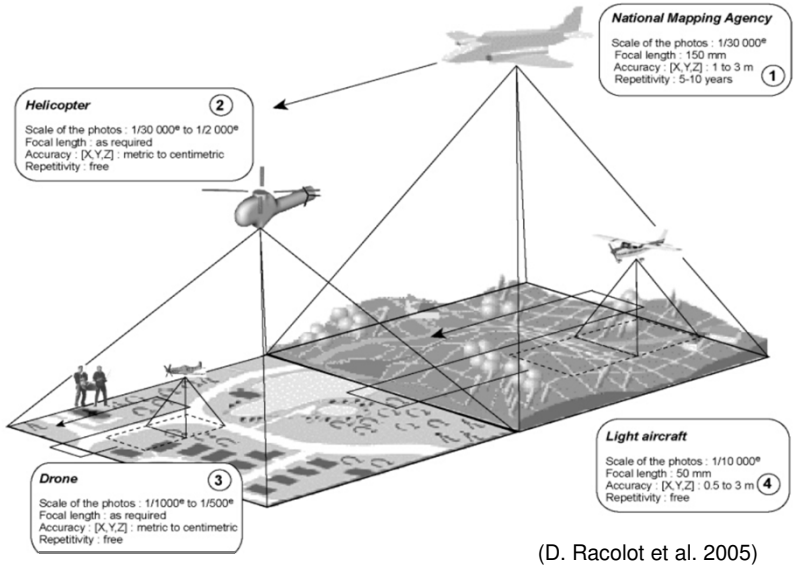
https://mydigitalbuildings.com



(c) Leica



(c) Cerema



(D. Racolot et al. 2005)

IMGC

Capacités métrologique des capteurs

La précision peut dépendre de la physique du capteur, de la configuration d'acquisition, etc.



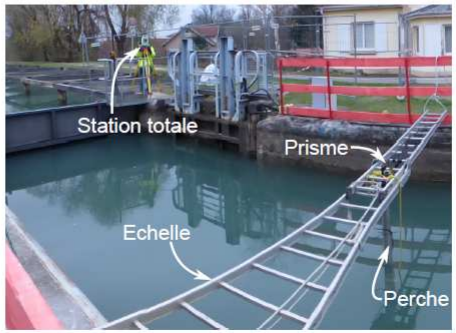
(a)



(b)



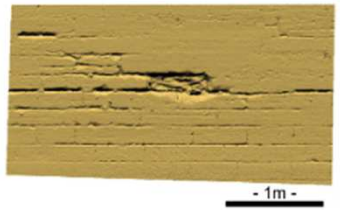
(c)



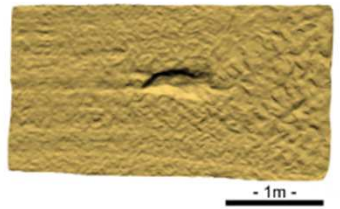
(d)



Laser



Sonar



(Moisan 2017)

IMGC

Conclusion

Conclusion

Une offre variée pour la numérisation 3D

Méthode et technologie à employer dépendent directement

- Du milieu (air, eau)
- Du dimensionnement (taille de l'ouvrage, échelle de travail)
- De la précision attendue
- De l'accessibilité de l'ouvrage, du rendement souhaité
- De critères économiques

Name	Abbr.	Resolution	Active illumination	Direct point cloud access	Output values	Price
Laser triangulation	LT	< mm	Yes	Yes	XYZ (I)	€€€
Structured light approaches	SL	< mm	Yes	No	XYZI (RGB)	€€
Structure from motion	SfM	mm	No	No	XYZRGB	€
Time of flight	ToF	mm	Yes	Yes	XYZ (I)	€€
Light field measuring	LF	mm	No	No	XYZRGB	€€€
Terrestrial laserscanning	TLS	cm	Yes	Yes	XYZ (I/RGB)	€€€

Exemple d'analyse pour le scan de petits objets (Paulus, 2019)

Numérisation 3D enrichie

La numérisation 3D n’est pas une fin en soi !

Enrichissement sémantique

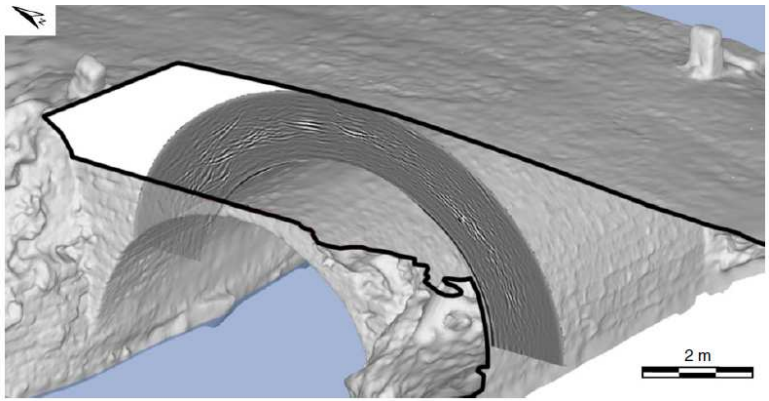
- Recensement d’équipements (cf. BIM)
- Détection de défauts (cf. inspection)
- Rôle de l’IA dans l’automatisation

Croisement avec d’autres modalités

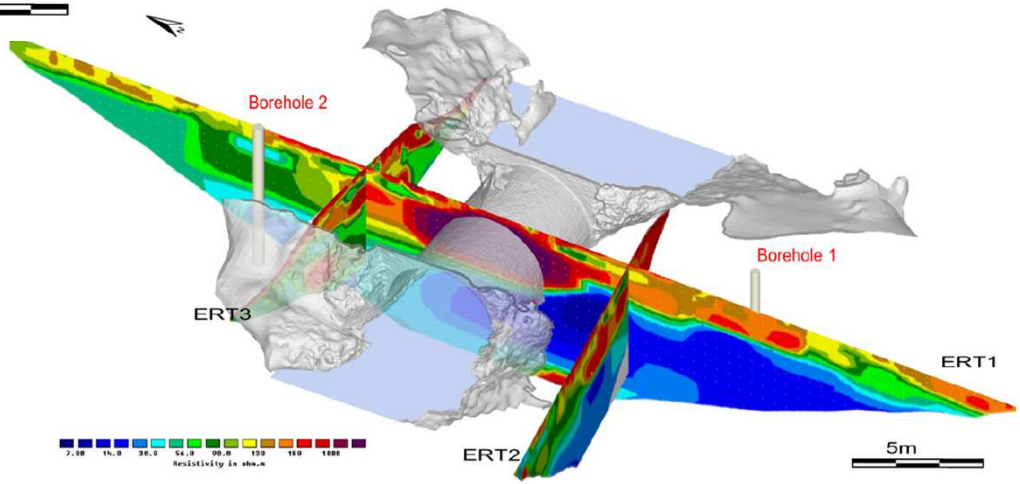
- Infra-Rouge
- Radar, imagerie géophysique, etc.

IMGC

Imagerie multi-physique



Développer une vision de l'ouvrage dans son environnement pour mieux interpréter son état



(Fauchard et al. 2013)

IMGC

Merci

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

Références

Wright, L., Davidson, S. How to tell the difference between a model and a digital twin. Adv. Model. and Simul. in Eng. Sci. 7, 13, 2020. https://doi.org/10.1186/s40323-020-00147-4

C. Fauchard et al. Assessment of an ancient bridge combining geophysical and advanced photogrammetric methods: Application to the Pont De Coq, France, Journal of Applied Geophysics, Volume 98, Pages 100-112, 2013. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.009

E. Lachat. Relevé et consolidation de nuages de points issus de multiples capteurs pour la numérisation 3D du patrimoine. Thèse de doctorat. Université de Strasbourg, 2019, https://theses.hal.science/tel-02374000v1

E. Moisan, Imagerie 3D du "tube entier" des tunnels navigables, Thèse de doctorat. Université de Strasbourg, 2017. https://theses.hal.science/tel-01710763

E. Moisan et al. Combining photogrammetric and bathymetric data to build a 3D model of a canal tunnel, The Photogrammetric Record, 36: 202-223, 2021. https://doi.org/10.1111/phor.12379

D. Raclot et al. Photographies aériennes prises par drone et Modèle Numérique de Terrain : apports pour l'observatoire sur l'érosion de Draix, Géomorphologie : relief, processus, environnement , vol. 11 - n° 1, 2005. http://journals.openedition.org/geomorphologie/209

S. Paulus. Measuring crops in 3D: using geometry for plant phenotyping. Plant Methods 15, 103 2019. https://doi.org/10.1186/s13007-019-0490-0