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

ETABLISSEMENT DE LA CARTOGRAPHIE NUMERIQUE DES DEFAUTS D'UN VIADUC

Présentation par Nicolas MANZINI, SITES

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

Sommaire

- **I. La télé-inspection**
  Principes de base de l'inspection à distance
- **II. Cartographie**
  L'étape complémentaire à l'inspection
- **III. La campagne terrain**
  Outils utilisés pour les acquisitions photos/vidéo
- **IV. Cas d'étude**
  Description de rendus types
- **V. Perspectives**
  Automatisation et intelligence artificielle
- **VI. Conclusions**
  Retour d'expérience et perspectives

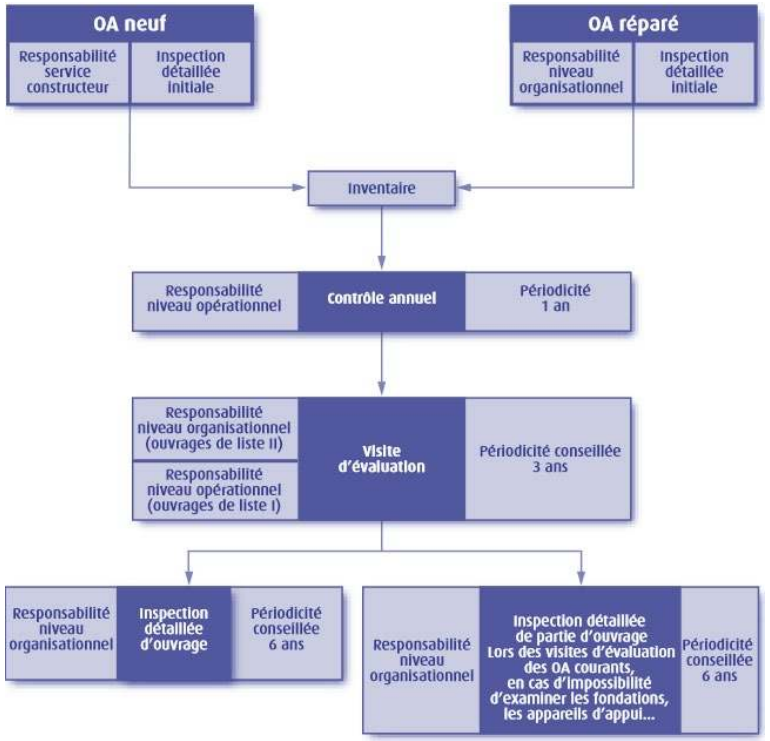
IMGC

I. La télé-inspection

L'inspection des ouvrages d'art fait partie intégrante de leur programme de maintenance et de surveillance.

C'est une démarche plus approfondie que le contrôle annuel et la visite d'évaluation, mais généralement réalisée en amont d'intervention spécialisées comme les campagnes d'auscultation, d'essais sur sites, ou d'instrumentation.

L'objectif est de produire un avis argumenté sur l'état d'un ouvrage et son évolution sur la base d'une étude documentaire et de relevés sur site. L'inspection doit également produire des recommandations d'actions de maintenance.



IMGC

I. La télé-inspection

Un certain nombre d'ouvrages présentent des défis opérationnels important pour réaliser l'inspection :

- Besoin d'interrompre la circulation / l'exploitation.
- Fortes contraintes d'exploitation : besoin de minimiser au maximum les durées d'intervention terrain, interventions de nuit…
- Difficultés d'accès : structures complexes, de grandes dimensions, en hauteur, passages étriqués, air de mauvaise qualité, sécurité…

La **télé-inspection** est une démarche qui vise à déporter la phase de recherche et analyse des défauts. La campagne terrain se transforme en campagne d'acquisition, et les défauts sont ensuite identifiés et caractérisés « au bureau ».

I. La télé-inspection

La télé-inspection permet notamment :

D'améliorer le rendement et l'objectivité des données :

- Diminution du temps d'intervention terrain.
- Optimisation du temps et des heures de travail du personnel spécialisé.
- Analyse approfondie hors contraintes « terrain ».
- Potentiel pour une analyse semi-automatique.

L'archivage numérique :

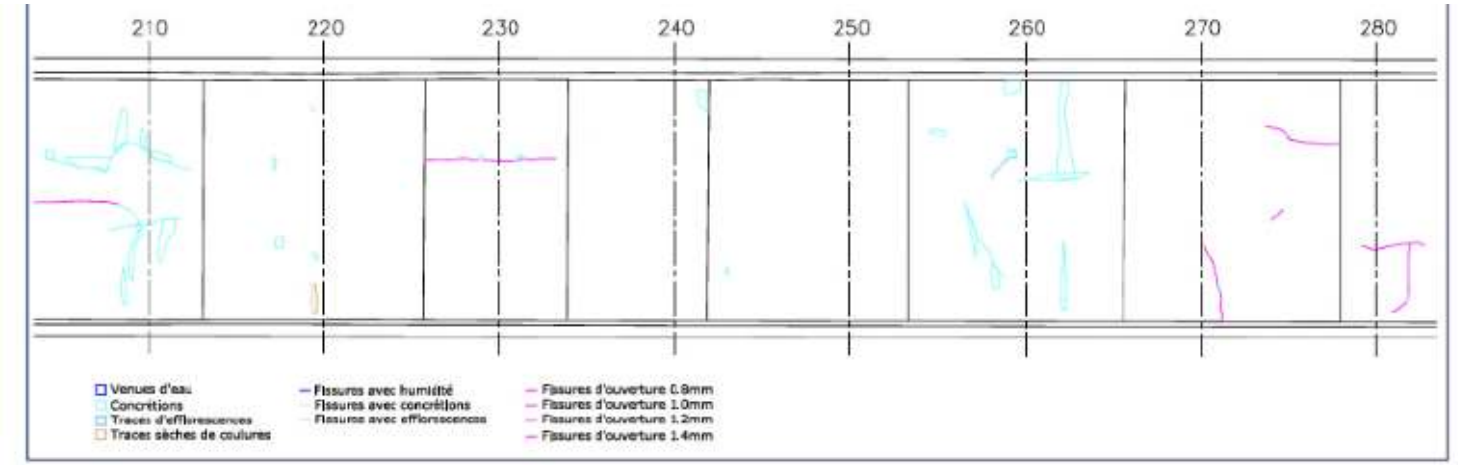
- Constitution d'une archive numérique à un temps donné.
- Stockage des défauts relevés mais aussi de l'ensemble des prises de vues de l'ouvrage (= donnée « neutre »).
- Aide au suivi de l'évolution des défauts.

II. La cartographie

La **cartographie numérique** des défauts relevés vise à les représenter sur une vue d'ensemble de l'ouvrage inspecté. Cette démarche permet :

- Une meilleure mise en contexte de défauts observés.
- Un meilleur suivi au cours du temps.
- Une planification facilitée des campagnes d'intervention ultérieures.

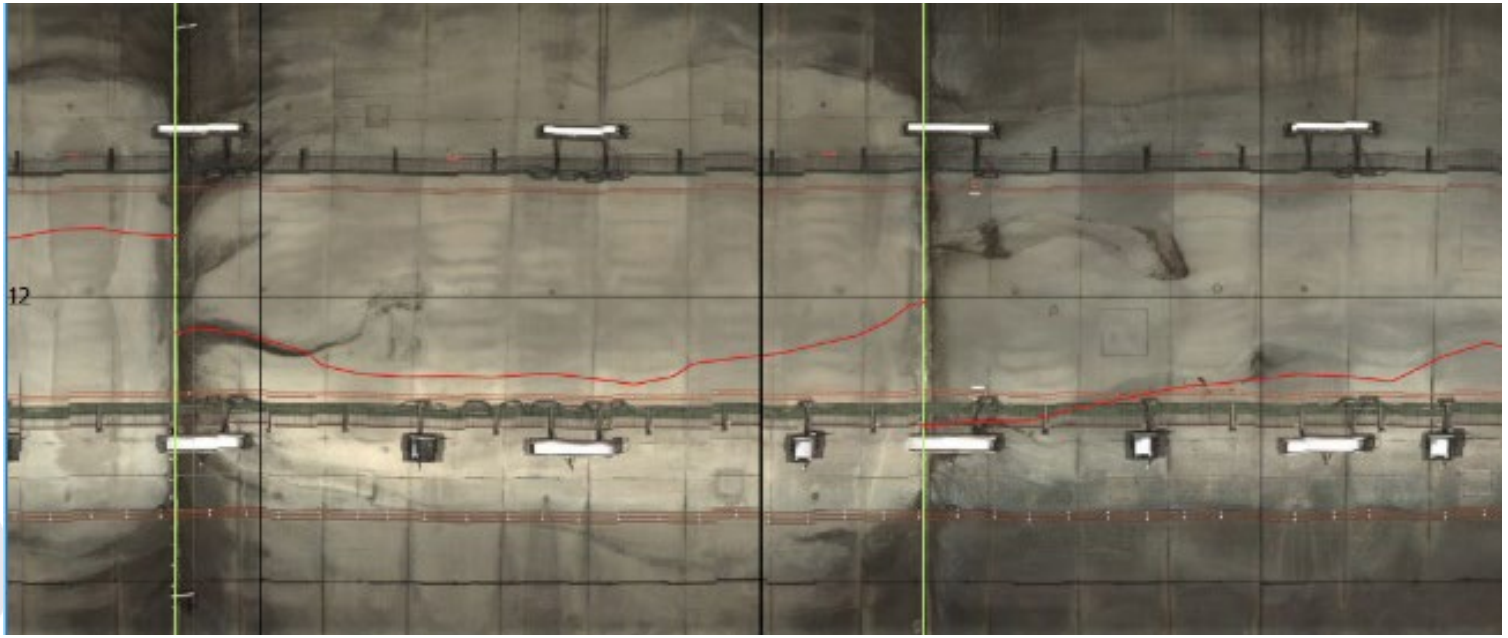
La cartographie peut être réalisée sur… **un plan** :



Exemple de plan

II. La cartographie

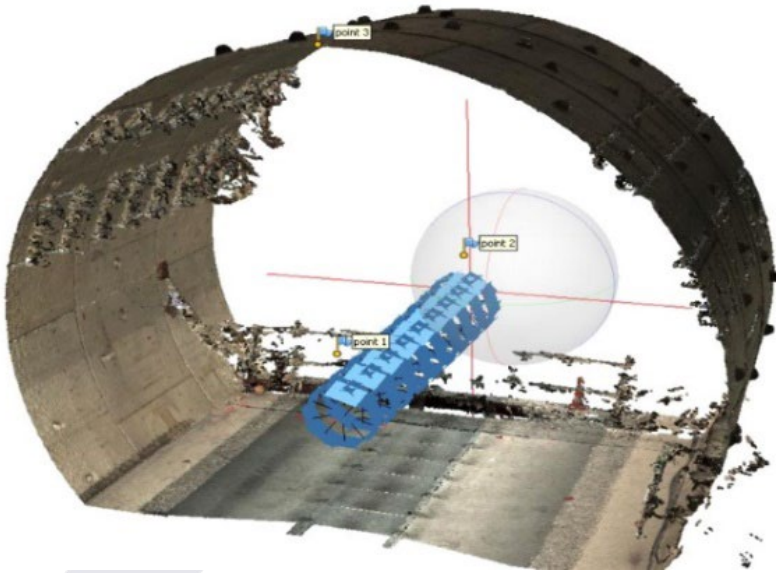
… sur **une orthophotographie** :

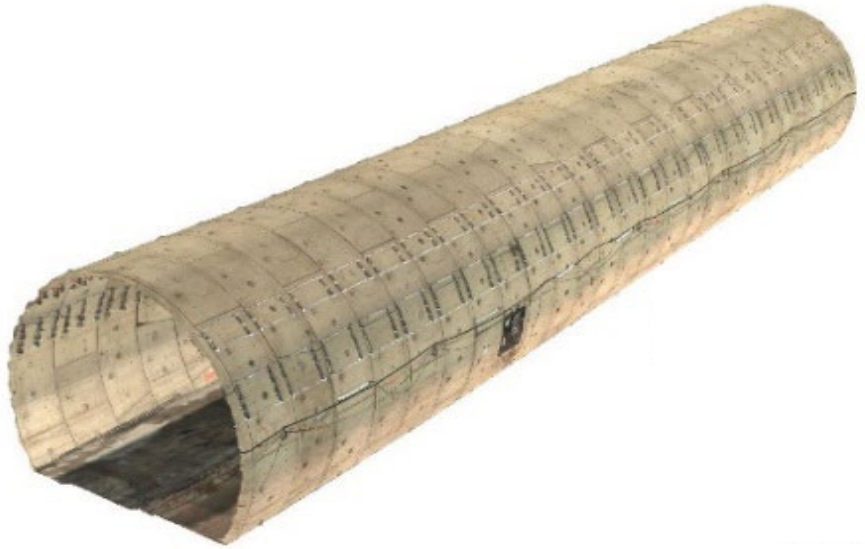


Orthophotographie d’un tunnel

II. La cartographie

… sur **un modèle 3D** :

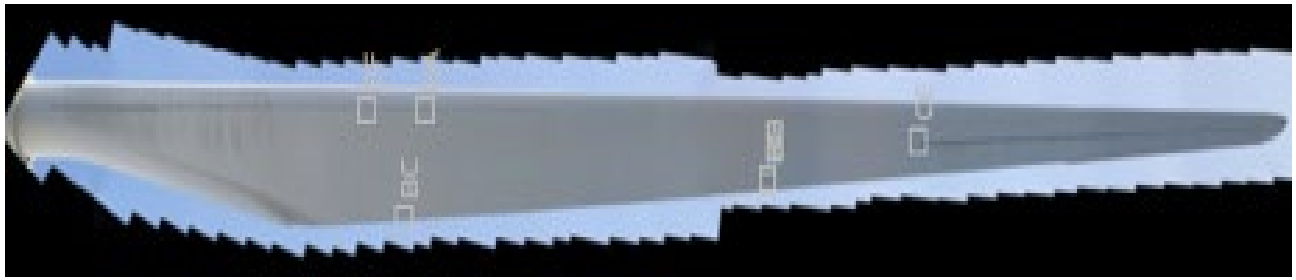




Modèle 3D d’un tunnel

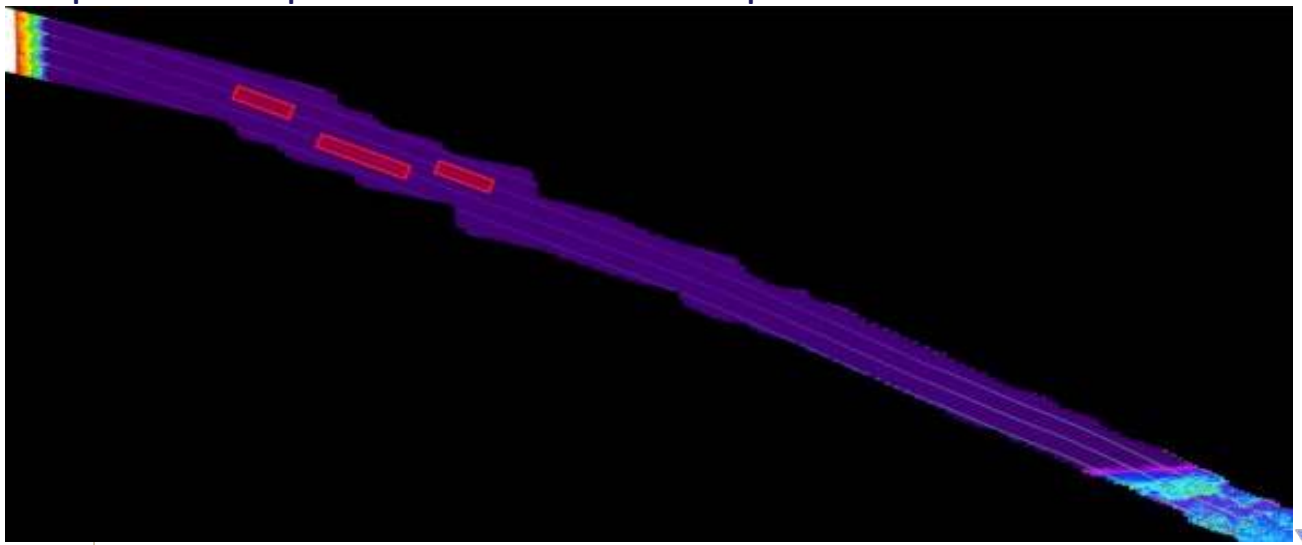
II. La cartographie

… sur **un assemblage d'images** :



Une pale d'éolienne

… qui ne sont pas forcément dans le spectre visible :



Des haubans en infrarouge

IMGC

III. La campagne terrain

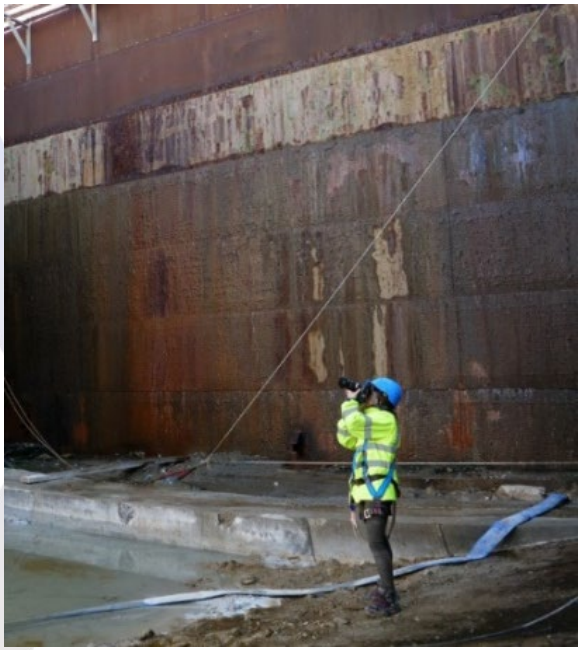
La phase terrain consiste en la réalisation d'une couverture photographique à haute résolution de la structure ou de l'élément de structure à évaluer.

Pour s'adapter à une large gamme de domaines, de configurations et de contraintes, nous avons développé plusieurs procédés de relevé et d'acquisition qu'il est possible de combiner si nécessaire.

Regardons quelques exemples de méthodologies…

III. La campagne terrain

L’acquisition par cheminement simple : La couverture photographique est réalisée à pied, à l’aide d’une perche télescopique ou d’un barreau équipé d’appareils photographiques haute résolution.



Bateau-porte



Intérieur d’un viaduc



Bâtiment industriel

III. La campagne terrain

L’acquisition par tête panoramique : Le système fonctionne avec un appareil photographique haute résolution mis en station sur un trépied. Après paramétrage, le système réalise automatiquement la couverture photographique.



Passerelle ferroviaire



Château d’eau



Pont sur la seine

III. La campagne terrain

L'acquisition par drone : des appareils spécialement conçus pour réaliser des acquisitions d'images à grande échelle.

Des développements spécifiques (photogrammétrie, stabilisation, automatisation, sécurité) ont été réalisés afin d'optimiser les prises de vue et de fiabiliser ce type d'opération.



Drone cage



Drone miniature



Drone classique

III. La campagne terrain



Inspection du pont Mirabeau



Inspection des piles du viaduc de Millau

Caméras sur nacelles + obturation rapide (1-2ms) = pas d'arrêt du drone.

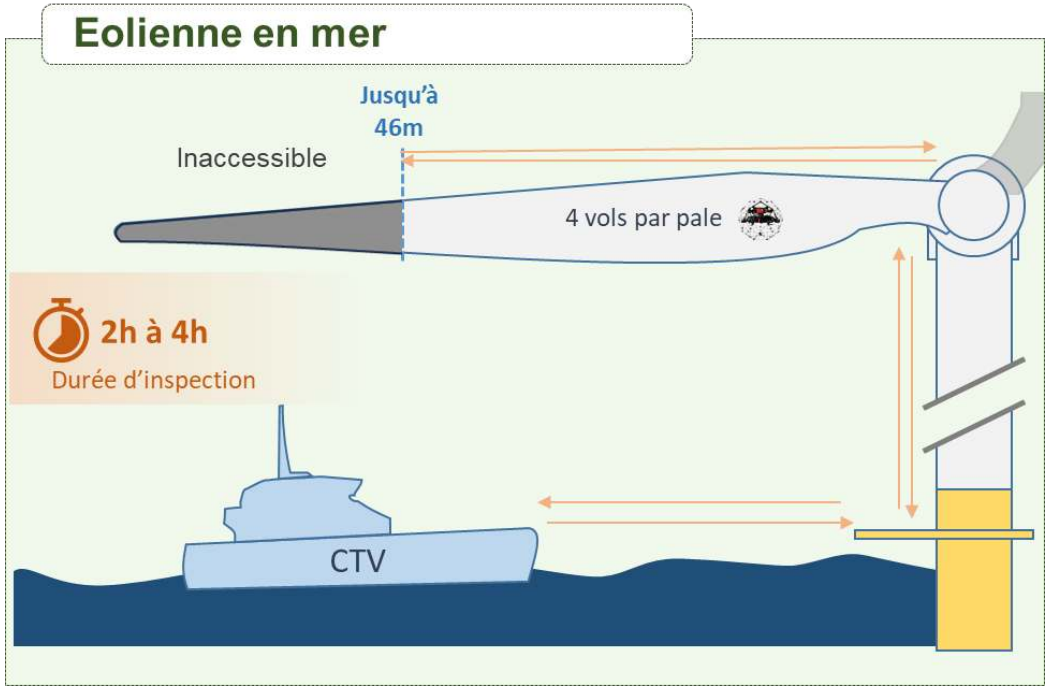
Temps de vol typique = 15-20 minutes.

Autorisations nécessaires en extérieur, très contraint en agglomération.

III. La campagne terrain



Inspection de l’intérieur d’une pale



Protocole d’intervention

III. La campagne terrain

L'acquisition avec des systèmes 360° : Sites a développé des outils d'acquisition semi-automatique capable de réaliser une numérisation à 360° en visible et en IR pour la numérisation des tunnels, cheminées, colonnes, mâts et autres structures linéaires.



Version horizontale

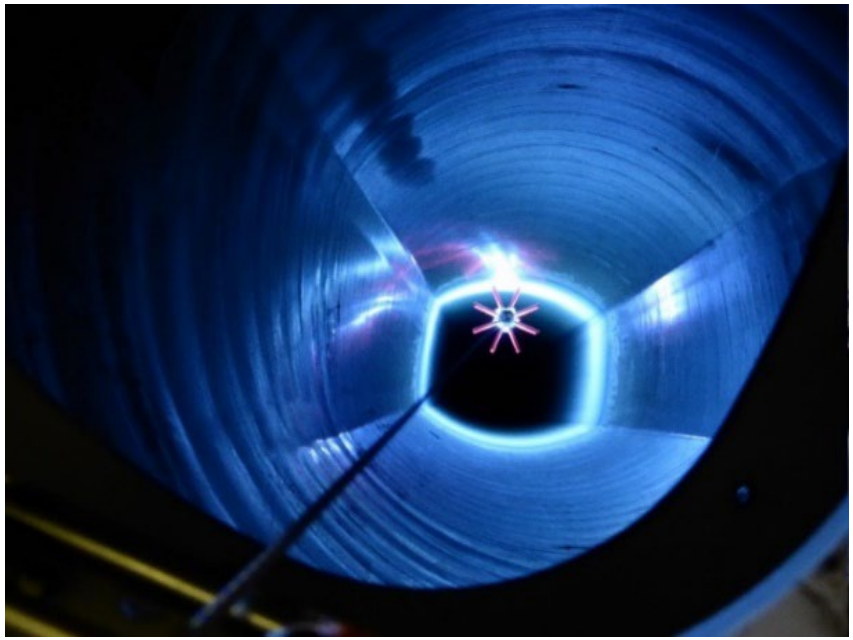


Version verticale

III. La campagne terrain



Campagne dans un tunnel



Campagne dans une pale d’éolienne

IV. Cas d'étude

Préparation

- Étude de la résolution nécessaire : 1mm (usuel), 0.5mm (fissures OA précontraint) ?
- Étude des moyens d'accès et configuration de l'ouvrage.

Campagne terrain

- Acquisitions numériques par les moyens sélectionnés
- Lever de doute selon exigences par comparaison à l'historique + zones accessibles.

Post-traitement

- Ajustement de la netteté + Équilibrage des photos (+ Développement de RAW)
- Transformation des photographies : assemblage ou projection + photogrammétrie, utilisation du modèle 3D ou des orthophotographies.

Relevé virtuel

- Relevé à distance par un inspecteur (formation gc + outils numériques) avec outils de mesure virtuels.
- Comparaison avec l'historique (+ Statistiques)

IV. Cas d’étude

Un cas d’étude : un viaduc en béton précontraint.

La campagne a été réalisée en combinant trois méthodes d’acquisition :

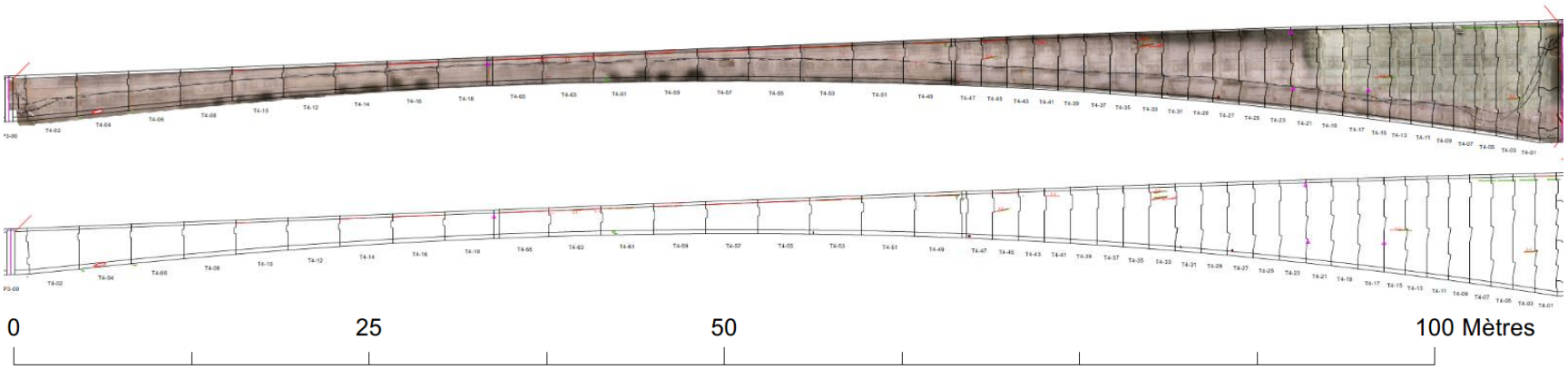
- Relevé par cheminement (avec pole) : intérieur de l’ouvrage.
- Relevé par tête panoramique : tablier.
- Relevé par drone : dessous tablier et piles.



Interventions sur site

IV. Cas d'étude

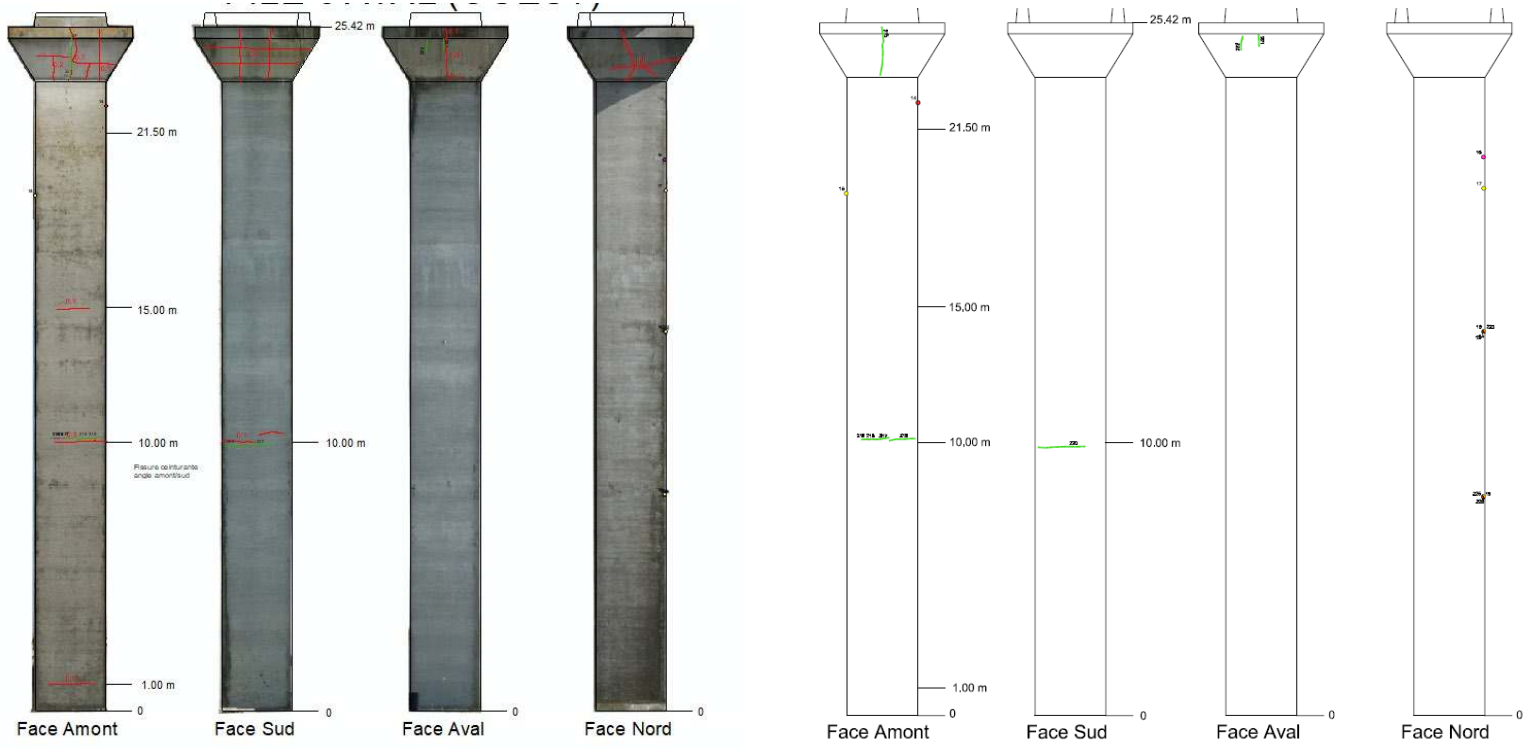
Les photographies acquises sont ensuite traitées pour obtenir des orthophotographies, qui peuvent être alignées sur les plans de l'ouvrage :



Haut : orthophotographie assemblée, Bas : plan 2D

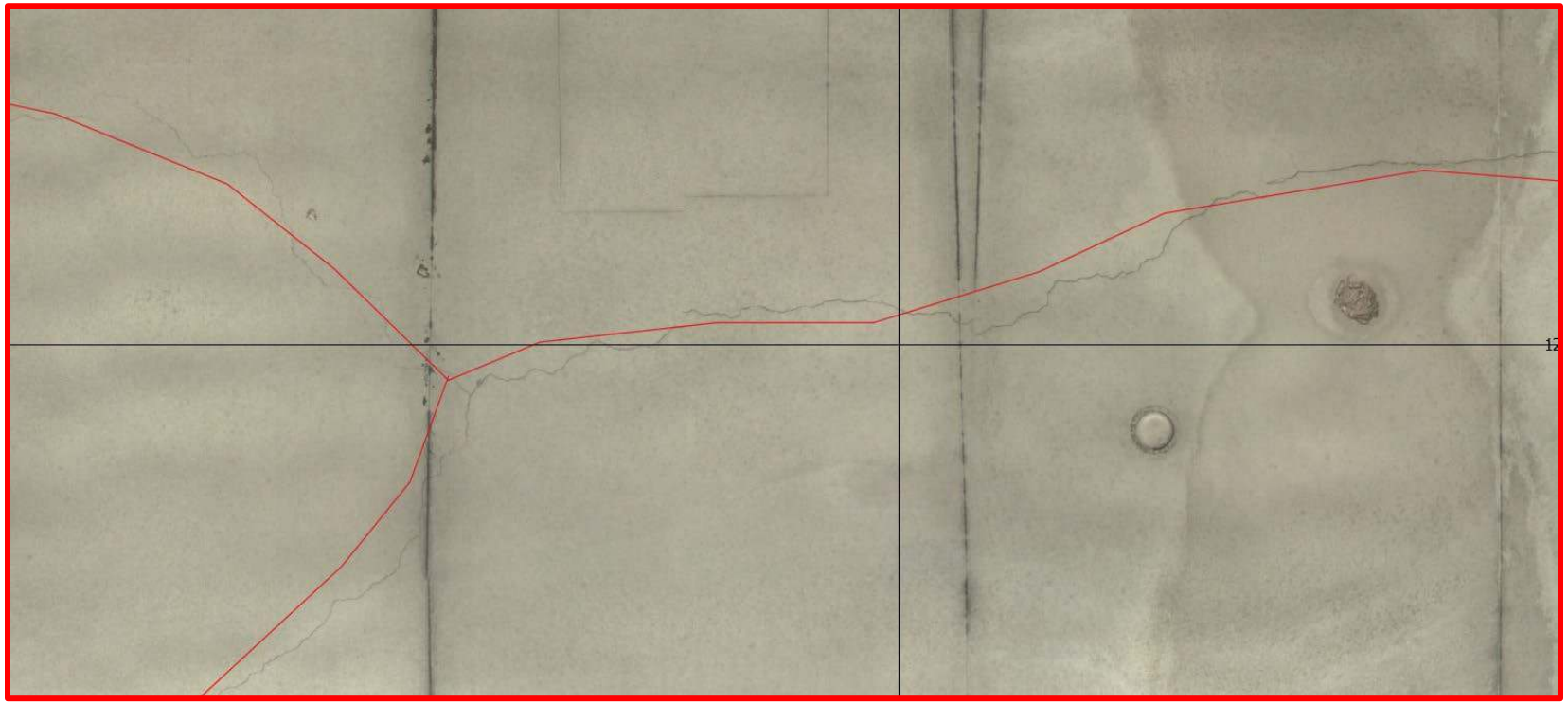
IV. Cas d'étude

Les images vont alors être inspectées par un inspecteur OA. Les anomalies identifiées sont alors caractérisées et classées, puis reportées conjointement sur les orthophotographies et plans en 2D :



Représentations orthophotographies et plans

IV. Cas d'étude



Exemple : zoom sur une orthophotographie avec une fissure relevée

L'inspecteur dispose d'un fissuromètre virtuel pour caractériser la fissure. Capacité de détection d'une fissure : 3x à 5x plus petit que la résolution.

IV. Cas d'étude

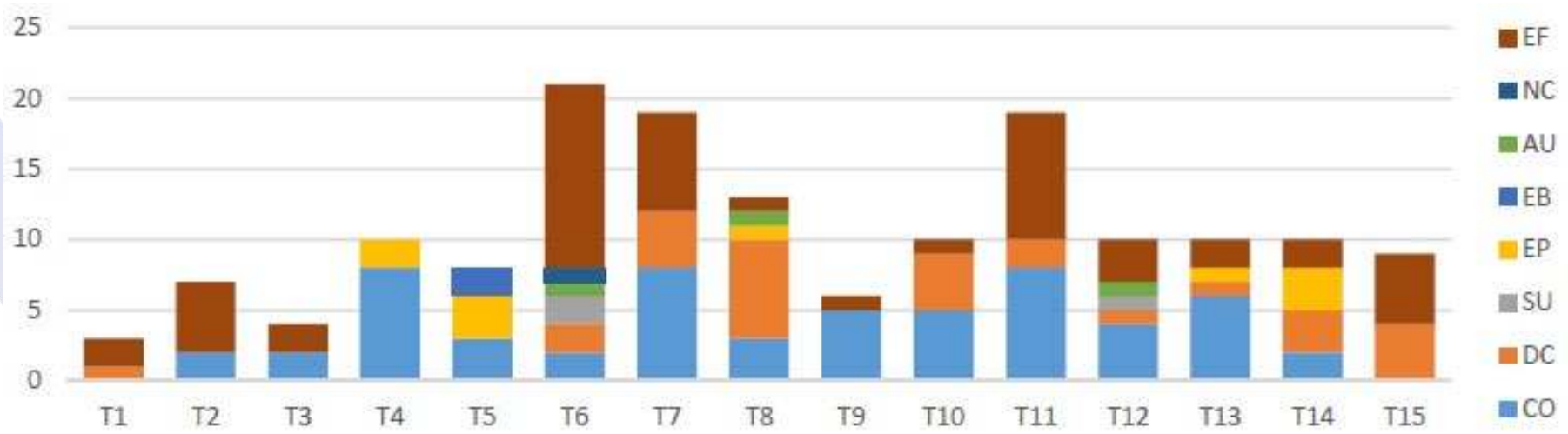
Le report des défauts sur une vue d'ensemble (plan, orthophotographie) permet leur datation, leur caractérisation, et leur repérage.

La liste des anomalies enregistrées est alors stockée dans une base de données, ce qui permet d'établir facilement :

- Un suivi global au cours des différentes campagnes.
- Des statistiques sur le nombre de défauts relevés.
- L'édition rapide de relevés des défauts facilement exploitables à diverses fins (inspections détaillées initiales et périodiques, vérification d'efficacité de réparation, étude de diagnostic, prédimensionnement de réparations…).

IV. Cas d'étude

Extrait de statistiques : répartition par travée du nombre de défauts « ponctuels » relevés à l'intérieur d'un caisson.



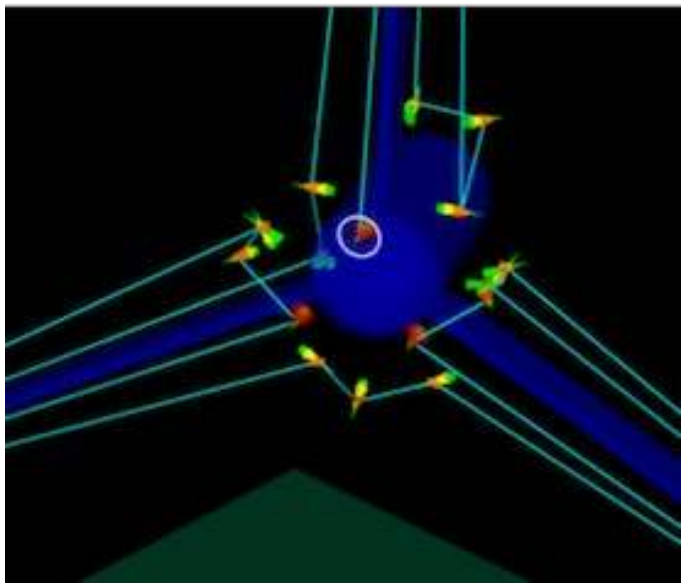
NC = Nid de cailloux
EB = Éclat Béton
EP = Épaufrure
EF = Efflorescence
SU = Suintement
CO = Corrosion
DC = Décollement
AU = Autres

V. Perspectives



L'automatisation est une des clés des prochaines évolutions des systèmes d'inspection et de cartographie à haut rendement.

Aujourd'hui, les systèmes avancés sont semi-automatiques, mais les évolutions en IA, computer vision, et électronique embarquée permettent d'envisager des campagnes autonomes pour des systèmes comme les drones ou le ScanTubes de Sites.



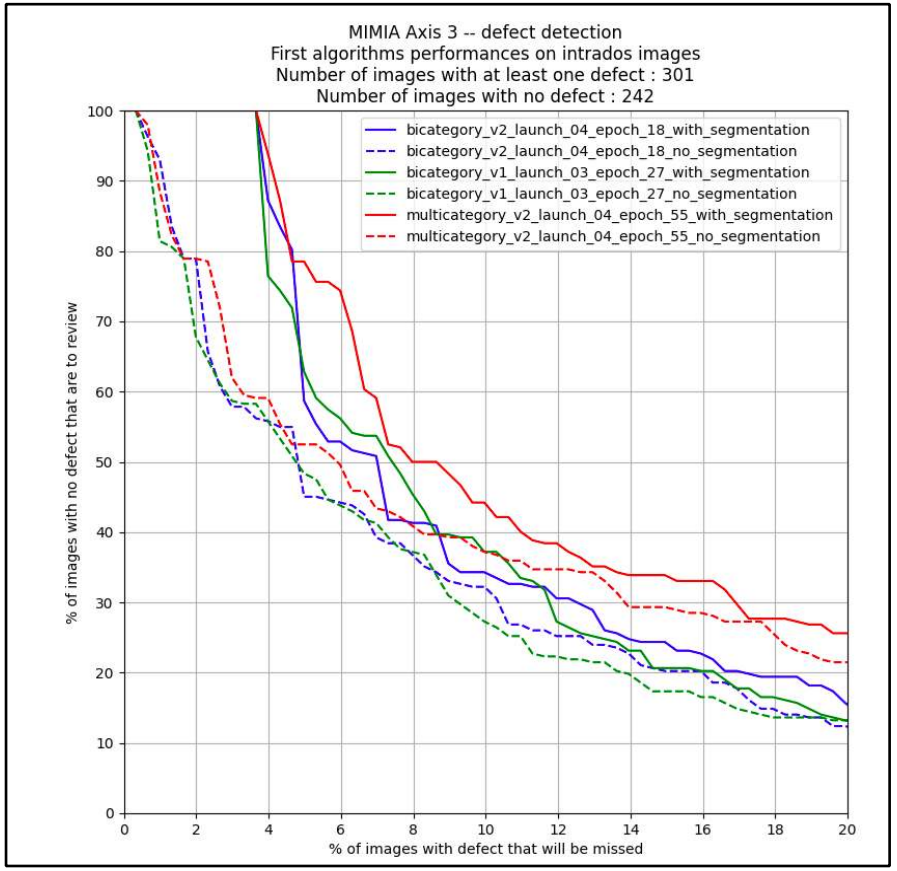
V. Perspectives

Automatisation de l'analyse des images, pour aider l'inspecteur lors de l'analyse « bureau ».

Un bassin de données saines et de défauts annotés se constitue… une bonne opportunité pour de l'IA :



Une base de données de 5000 tuiles annotées utilisée dans le projet MIMIA.

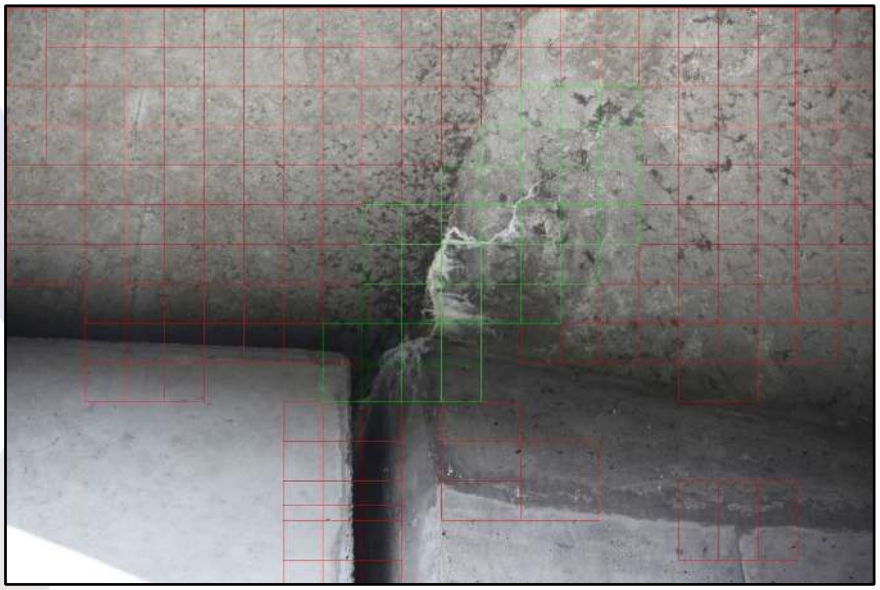


Performances de différents modèles évalués pendant le projet MIMIA

IMGC

V. Perspectives

Attention : l'objectif de ces démarches n'est pas de remplacer l'expertise humaine, mais d'alléger la charge de travail en gérant les tâches simples, répétitives, et en faisant une première détection des anomalies les plus évidentes.



Exemple d'analyse en vue photo avec une anomalie



Exemple de cas indubitablement sain

VI. Conclusions

La télé-inspection et la cartographie numérique des défauts d'un ouvrage sont des outils permettant d'améliorer significativement le rendement des relevés terrain, en diminuant les risques pour les personnes.

Elles permettent la constitution d'une archive numérique, facilitant la comparaison des campagnes au cours du temps, mais aussi la génération des relevés de défauts sur plusieurs supports, et la création de statistiques.

Les méthodes d'acquisitions sont variées, combinables, et en perpétuelle évolution : têtes robotisées, drones, mobiles dédiés…

Les pistes d'innovation de Sites sur ces outils portent sur l'automatisation des campagnes d'acquisition et de l'analyse des données.

VI. Conclusions

Publications récentes sur ce sujet :

Inspeccion de galerias de presion con un sistema fotogrametrico semiautomatico, 2024
Thomas MAUROUX, Paoline PREVOST, Thibault GOUACHE

Assessment of tunnels condition through high efficiency techniques, 2023
Bertrand COLLIN, Pierre CARREAUD

Caractérisation de défauts d'alignement entre voussoirs, relevés simultanés en visible et en infrarouge thermique dans les tunnels : des nouveaux développements du système ScanTubes, 2023
Bertrand COLLIN, Pierre CARREAUD, Matthieu RUDINGER, Jean-François DOUROUX

Merci

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil