IMGC

Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil

LA GESTION DES OUVRAGES D'ART EN SITUATION DE CRISE

Diagnostic, surveillance et suivi travaux de réparation du pont de Sully après collision d'un bateau-mouche

Le 20/11/2025



1 - Gestion de crise – Ville de Paris

2 - Assistance à MOE – INFRANEO

3 - Surveillance et monitoring - SITES

Gestion de crise Ville de Paris

- ➔ Premières mesures
- ➔ Contraintes et enjeux
- ➔ Organisation

Premières mesures

L'accident du 31 janvier 2024, **les premières mesures :**

31 janvier 2024 :

- Accident en fin d'après-midi

1er février 2024 :

- Ville de Paris est informé de l'accident dans l'après-midi
- Constat sur site immédiat
- 1ères mesures d'exploitation :
  - Interdiction à la navigation fluviale en début de soirée
  - Limitation de la circulation routière



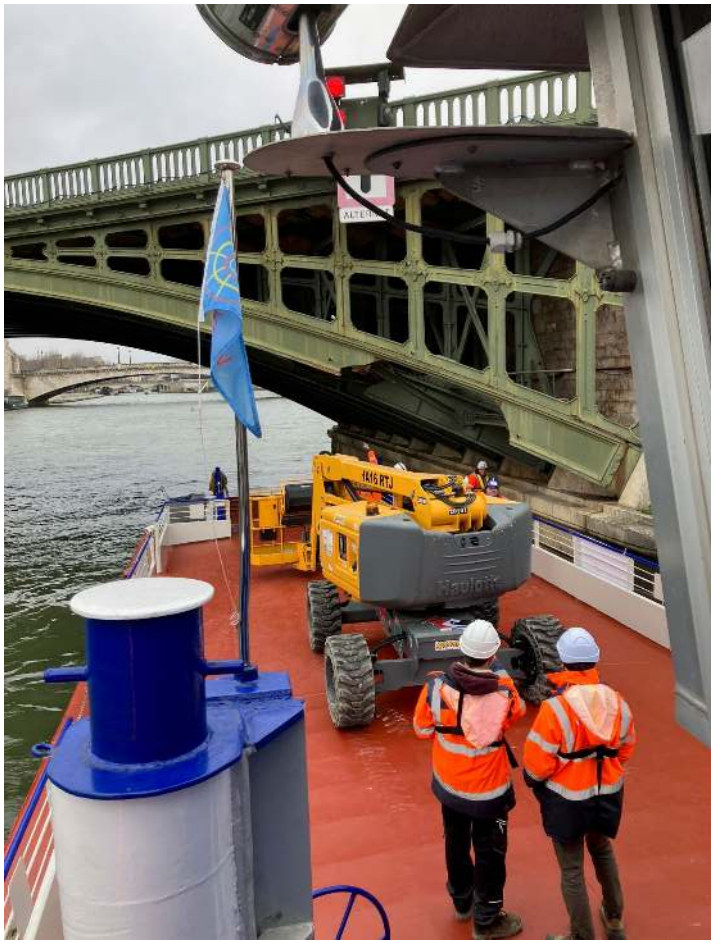
IMGC

Premières mesures

L'accident du 31 janvier 2024, **les premières mesures :**

Février/mars 2024 :

- Mobilisation des experts CEREMA + INFRANEO
- Mise en place d'une surveillance renforcée (**inspections quotidiennes avant réouverture à la navigation**, ID spécifique, topo, lasergrammétrie, drone sous-marin, etc.)
- Établissement d'un 2ème modèle de l'ouvrage



Contraintes et enjeux

Contraintes inhérentes à l'ouvrage et à la localisation

- Réseaux et concessionnaires
- Crues de la Seine
- Variation de la température
- Vibrations des circulations

Circulation fluviale

- Arche N°3 grand bras : montant + descendant -60 m
- Arche N°2 grand bras : descendant +60 m par convoi 1h/j, demande de 2 convois par jour

Circulation routière

- État de l'ouvrage pré accident : limitation 3,5 t (hors bus et secours)
- Un des 5 ponts sur la Seine ouvert à la circulation routière pendant les JOP 2024 (hors épreuves)

Évènements :

- Répétitions de la parade fluviale pour la cérémonie JOP 2024 au mois de juin et juillet
- 26 juillet 2024 : parade fluviale de la cérémonie d'ouverture des JOP 2024
- 27 juillet 2024 : épreuves du contre-la-montre cycliste

Contraintes et enjeux

Sécuriser l'ouvrage tout en maintenant :

- Les circulations douces sur l'ouvrage
- La circulation fluviale active (passages par convois des péniches commerciales et fret)

Tenir le planning

- Etudes de faisabilité, d'exécution (1 mois)
- Appros
- Travaux (2,5 mois)
- Repli le 5 juillet 2024

Niveau de sécurisation / confortement post-travaux

Organisation du projet - acteurs

Maître d'Ouvrage : PARIS

AMOA : Cerema

Maître d'Œuvre : PARIS

AMOT : INFRANEO egis

Instrumentation et surveillance : Sites

Entreprises : FREYSSINET SUSTAINABLE TECHNOLOGY, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Autres acteurs publiques : Préfecture IdF, DRIEAT, HAROPA, VNF, RATP, Eau de Paris, etc.

Organisation du projet - comitologie

- COPIL sous la direction du Préfet d'Ile de France : ~ tous les 15 jours
- COPIL externe (services de l'Etat, concessionnaires, etc.) sous la direction du DVD : 1 / semaine
- COPIL interne VdP avec SG et cab / rdv d'avancement : tous les jours pendant les travaux

-> CR systématique diffusé avant réunion suivante

Organisation du projet – cotech et rdv de chantier

- COPIL : MOA / préfecture interne et externe : 3 fois par semaine

- COTECH : 1 / semaine

- Marché d'urgence impérieuse (articles L2122-1, R2122-1 et R2122-3 du Code de la commande publique)
  → *Commande le 22 mars 2024*

- Rdv de chantier étude : 1 / semaine voire plus selon urgence des sujets
- Rdv de chantier travaux : 1 / semaine voire plus selon urgence des sujets

  -> CR systématique diffusé avant réunion suivante

- Délai VISA : 3 jours pour MOE et AMOT
- Délai 1er et 2ème retour VISA : 1 jours
- Ensuite rdv spécifique afin de lever les dernières réserves en présentiel

- Travaux : ~ 8 M€ de travaux sur 3 mois – certains travaux 7j/7j et 24h/24h

Intervention de INFRANEO

Assistance technique à maîtrise d'œuvre

- ➔ En conception
- ➔ En exécution

Premiers constats

J - 150

INFRANEO est saisi par la ville de Paris pour effectuer un premier « constat-diagnostic » le 1er février.

- **Arc A11 (amont) rompu** : ne subsiste qu'une partie de la semelle sup. fracturée)
- La partie inférieure **du tympan A11** sur l'arc rompu **est absente**
- **Arc A10 entièrement rompu** : L'éléments rompu de l'arc A10 est en équilibre dans la structure et menace de tomber

Et également

- Arc A09 présente des signes de décalage centimétrique mais ne présente pas – visuellement – de dégradations structurelles imputables au choc
- Les entretoises entre A11 – A10 et A10 – A09 au droit du choc sont soit rompues, tordues ou arrachées et voient leurs fixations partiellement ou totalement rompues

Premiers constats



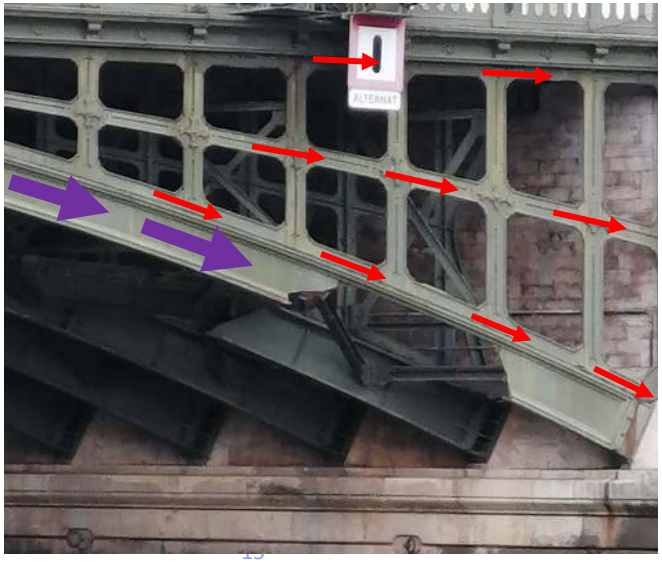


Objectifs : sécuriser voire réparer pour JOP2024

Conclusions modélisations

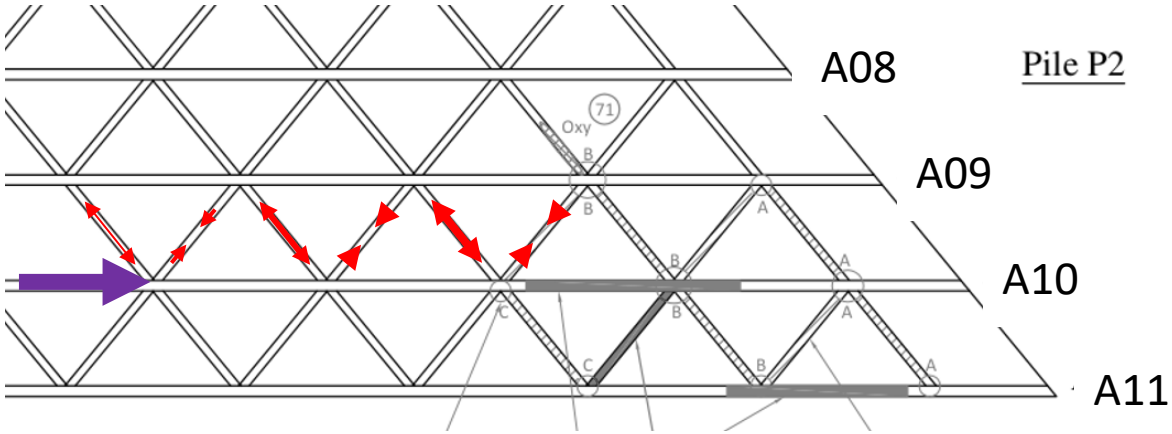
J - 125

- Double modélisation (INFRANEO et EGIS) : deux modèles et deux logiciels
- Validations des modélisations par le CEREMA



Principales conclusions

- Peu de répartition transversale
- L'arc A11 peut être considéré comme rompu : les charges transitent par les membrures du tympans (PM fracturées (!))
- L'Arc A10 est rompu : les charges en about de la rupture sont ramenées sur A09 essentiellement via les entretoises situées entre A10 et A09



IMGC

Conclusions modélisations

J - 125

➔ **Selon les modèles :**

- Sous poids propre : les membrures des tympans de A11 présentent des contraintes bien supérieures aux limites à la rupture de la fonte et des risques d'instabilité liées à leurs élancements
- Sous poids propre : les entretoises entre A10 et A09 sont trop sollicitées et devraient flamber ; leurs fixations ne peut pas être justifiées

Même sous poids propre, la stabilité

de l'ouvrage accidenté ne peut pas être démontrée

➔ **De nombreuses inconnues ou incertitudes qui peuvent grever le modèle demeurent :**

Phasage de construction et des réparations précédentes, plans lacunaires, etc.

Scenarii et consultations

J - 120

➔ **Etudes de différents scenarii**

- Mise en œuvre de cintres
- Apparaux (extrados et/ou intrados)
- Poutre de soutien extradossée
- Dépose des arcs

➔ **Rédaction d'un cahier des charges (technique, temporel, exploitation)**

➔ **Consultation sous notion d'urgence impérieuse**

- Les entreprises doivent proposer des solutions de confortement ou solutions de confortement + réparation
- Délais de 2 semaines avec échanges et ajustements en continu

Scenarii et consultations

J - 105

➔ **Choix de l'entreprise : Groupement Freyssinet - Chantiers Modernes Construction**

➔ **Solution de sécurisation et de réparation**
- Sécurisation par poutres en extrados type poutres de lancements
- Remplacement des voussoirs fracturés par éléments en béton projeté

➔ **Calage des teneurs et marchés de travaux**
- Méthodes
- Confirmation disponibilités matières et planning
- Calage études principales niveaux APD en lien avec l'exécution
- Calage sujétions exploitation, environnement, réseaux,…

Travaux de sécurisation

J - 95

➔ **3 Mois de réalisation**

➔ **Démarrage des études d'exécution en même temps que les travaux**

➔ **Conséquences sur l'organisation - ENTREPRISE**

- Bureau d'études et des méthodes interne présent sur site
- Travail 7 jours sur 7, 24 heures sur 24 quand les tâches le permettent
- Jusqu'à 3 fois 25 compagnons sur site et 10-15 encadrants + études sur site

➔ **Conséquences sur l'organisation - MOE**

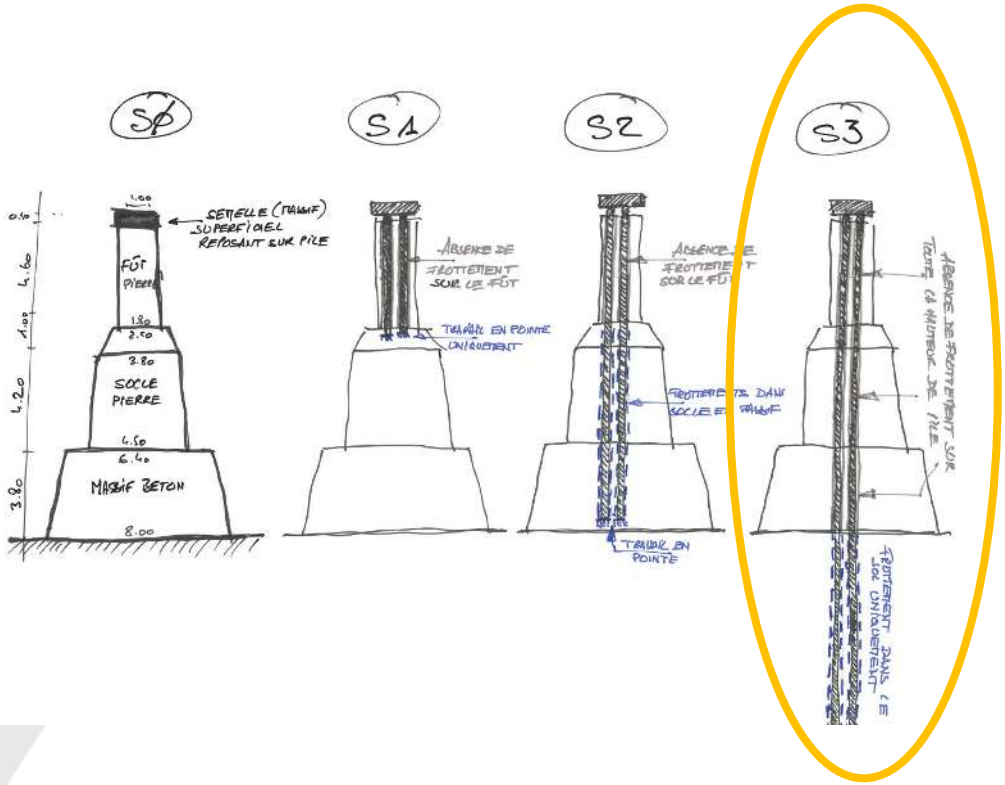
- VISA : 3 jours pour indice 0 ; 1 jour pour indices suivants
- Réunion d'avancement 2 à 4 fois par semaines
- Présence continue

1 semaine de travaux = 1 mois de travaux sur chantier « normal »

Renforcement des piles

➔ **Surcharge en cas de scenario de ruine**

➔ **Solution de micropieux retenue**



➔ **Nombreuses problématiques à résoudre**

- Cheminement foreuses sur l'ouvrage
- Réseaux présents au niveau des forages
- Délais d'exécution, de fabrication des tubes…
- Etc…

IMGC

Ouvrages de sécurisations (poutres)

➔ **Ouvrages de sécurisation pour « retenir » l'ouvrage en cas de ruine des arcs A10 et A11**

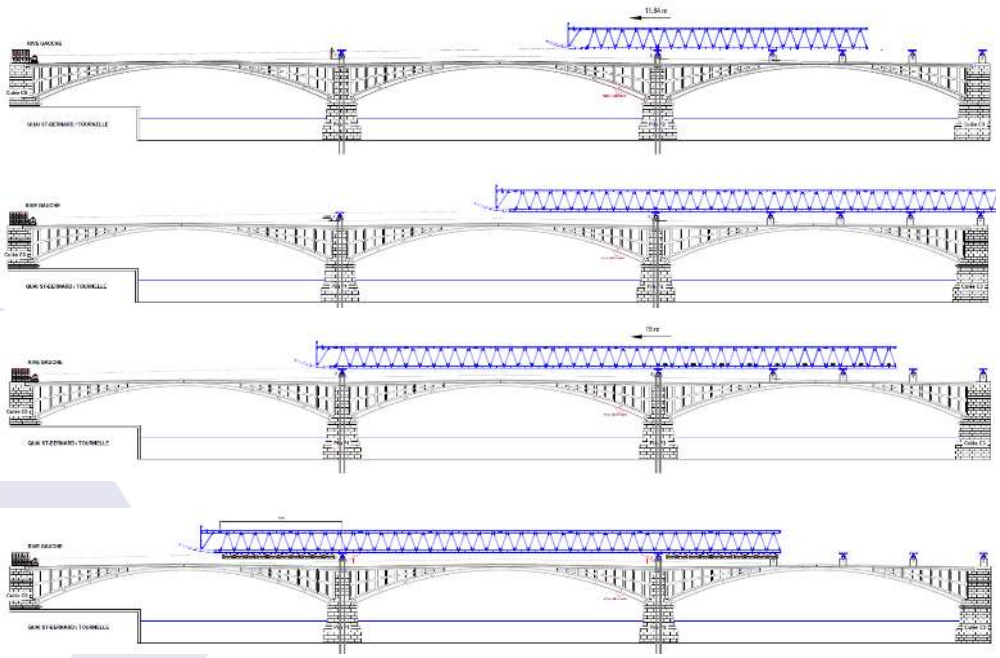
- Empêcher une chute des arcs en Seine
- Empêcher un « effet domino » qui ne pouvait pas être exclu

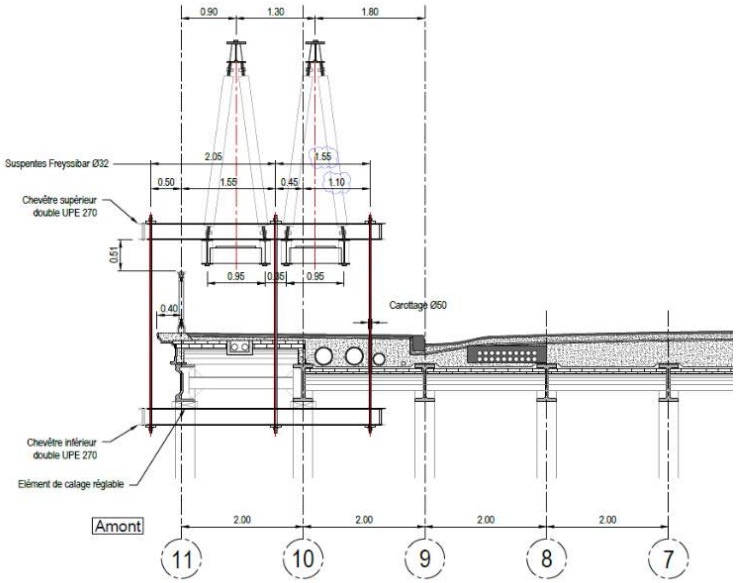
➔ **Poutres de type « lancement » disponibles en Italie**

➔ **Délais contraints : justification « fine » des poutres en même temps que leur acheminement (!) - <u>Conséquences : poutres sous-dimensionnées</u>**

- Nécessite un rallongement et la mise en œuvre de contrepoids de part et d'autre des appuis pour contenir le moment à mi-travée (160 tonnes de contrepoids en tout)
- Nécessite un renforcement des sections (triangulation sur appuis notamment) sur site et en atelier en même temps que le montage et le lancement (!)
- Nécessite d'autres aménagements

Ouvrages de sécurisations (poutres)





Fin de la sécurisation

J - 30





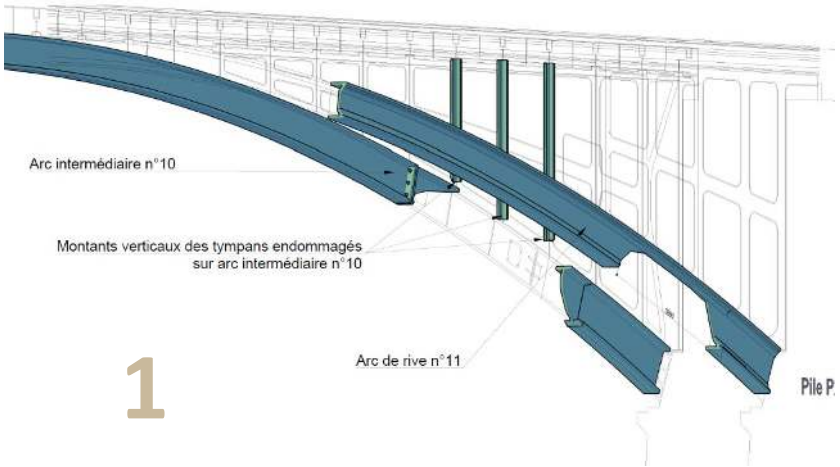
Travaux réparations

J - 30

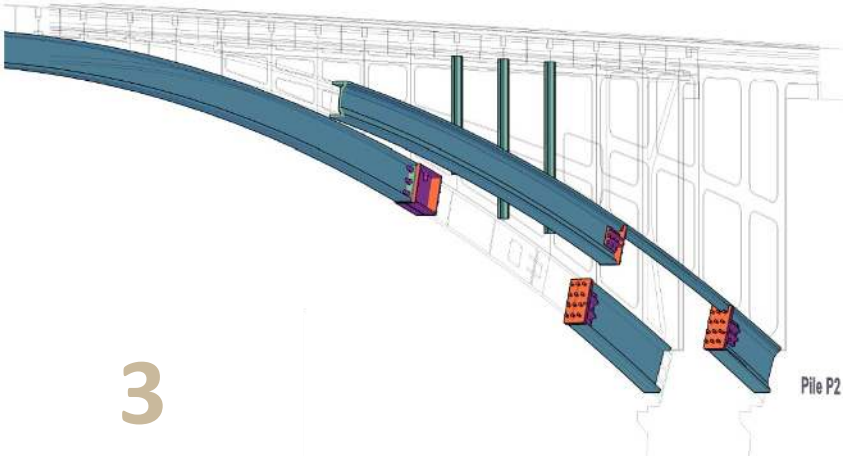
Principe de réparation des deux arcs A11 et A10

1. Retrait des entretoises de la zone dégradée
2. Retrait des voussoirs en fonte brisés par déboulonnage et sciage « plan » (= rayonnant)
3. Mise en œuvre de platines d'about connectées aux voussoirs préservés dont 2 équipées de vérins plats
4. Reconstitution des voussoirs démolis par béton armé projeté performant
5. Vérinage (mise en charge) des arcs A11 et A10
6. Vérinages des pieds de tympans de A10
7. Connexion des entretoises (existantes et nouvelles)
8. Application d'une peinture verte

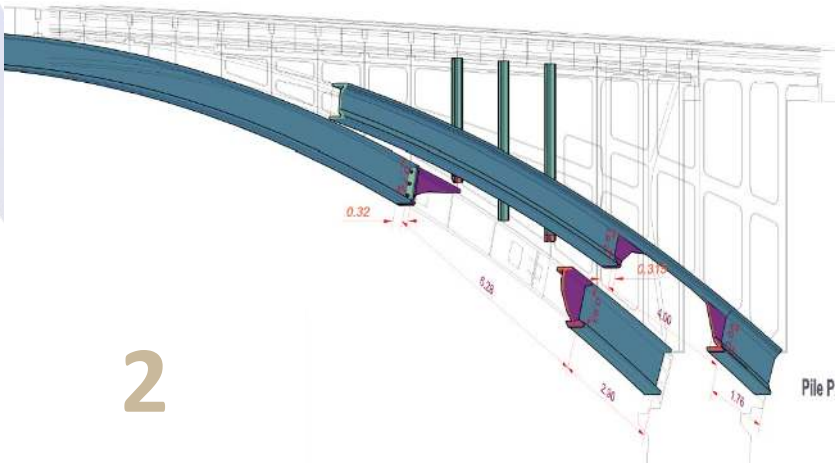
Travaux réparations



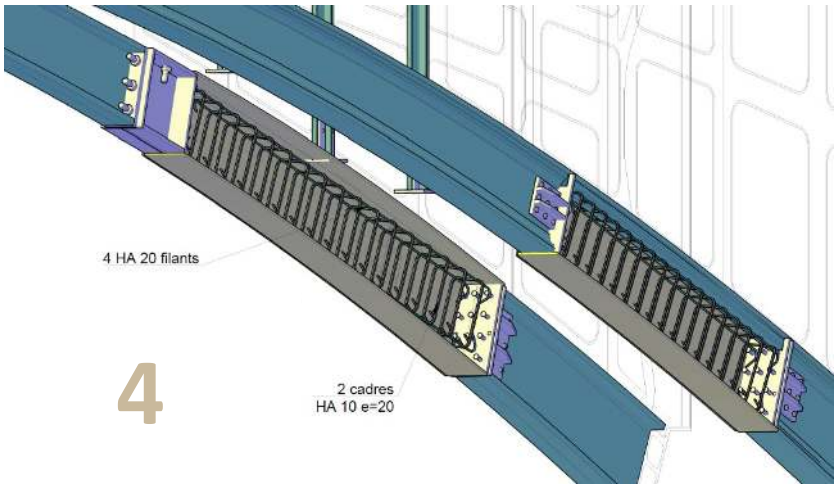
1



3



2



4

Travaux réparations

J - 30

Difficultés rencontrées (non limitatif)

- Retrait d'entretoises théoriquement sollicitées au-delà de leur limite avec entretoises provisoires et transferts de charges ad hoc

- Interface fonte / béton projeté y compris inclusion de vérins pour mise en charge

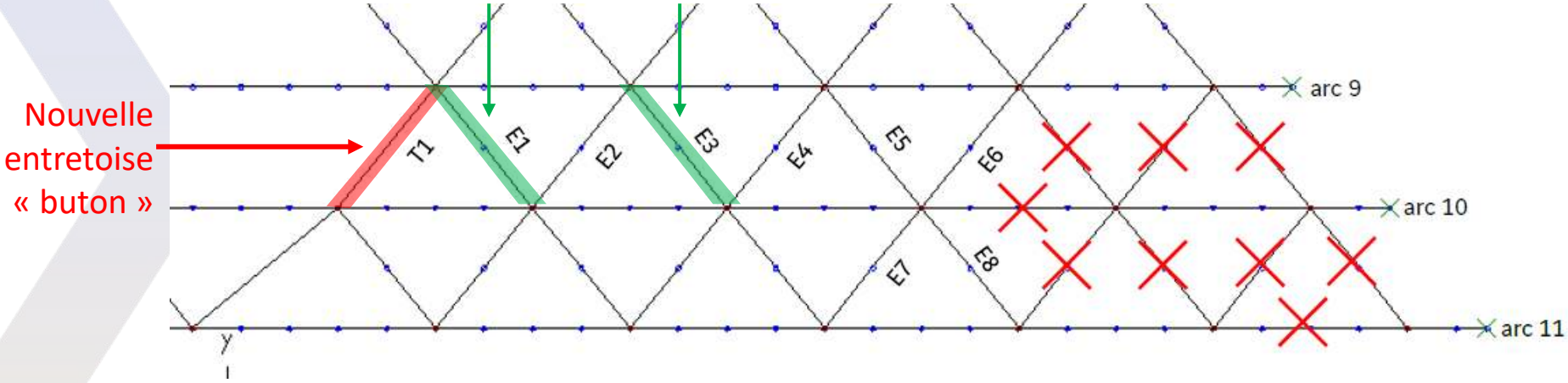
- Travail en nacelles sur barges avec obligation de maintenir des créneaux pour navigation commerciale

- Etc.

Travaux de réparations

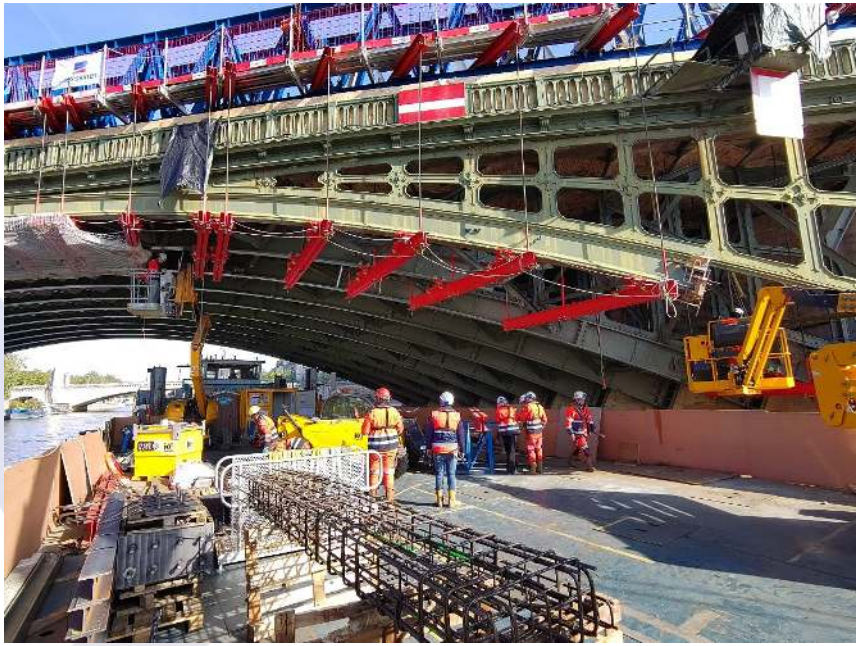


Doublage et reprise partielle des entretoises excessivement tendues par des palans de 20 tonnes



IMGC

Travaux réparations





Parachèvement et replie

J - 5

Fin de travaux et replie

1. Essais de chargement
2. Dépose des suspentes et entretoises inférieures et supérieures
3. Délançage, démontage et évacuation des travées de poutres
4. Démolitions des massifs de fondations
5. Réfection des revêtements de trottoirs et superstructures impactées
6. Remise en fonctionnement des canalisations d'eau potable
7. Retrait de la base vie





Intervention de SITES

Instrumentation et surveillance

Campagnes d'inspection

La société SITES est intervenue à travers un programme dense d'interventions terrain, contribuant à la fois à la phase de diagnostic mais aussi à la phase de surveillance pendant les travaux :

1. Phase de diagnostic (09/02) :

- 1ère campagne d'inspection exceptionnelle sur le quart de travée

2. Visites quotidiennes (du 20/03 au 20/06) :

- Suivi quotidien de l'ouvrage pendant les travaux
- Objectif : valider l'ouverture à la navigation soirée/nuit

3. Inspections post-travaux (juillet, septembre…) :

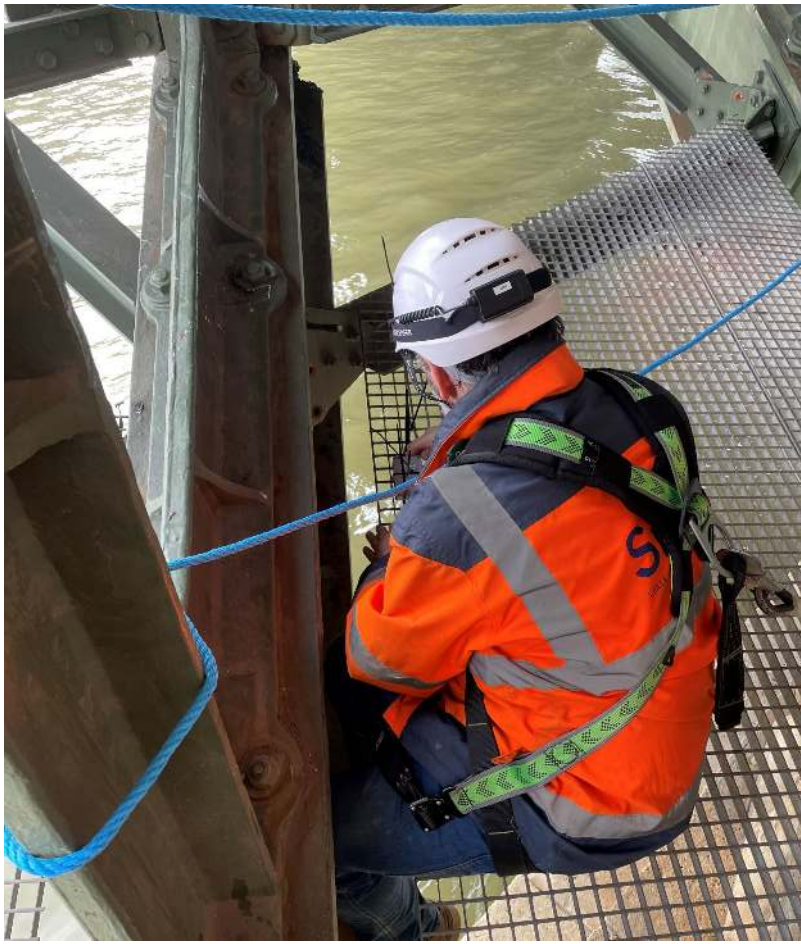
- Suivi de l'ouvrage après fin des travaux
- Objectif : validation du comportement

+15 personnes

Campagnes d’inspection

Des interventions parfois sportives :





Campagnes d’inspection

Exemples d’anomalies relevées à l’inspection détaillée partielle suite à l’accident :





Campagnes de relevés

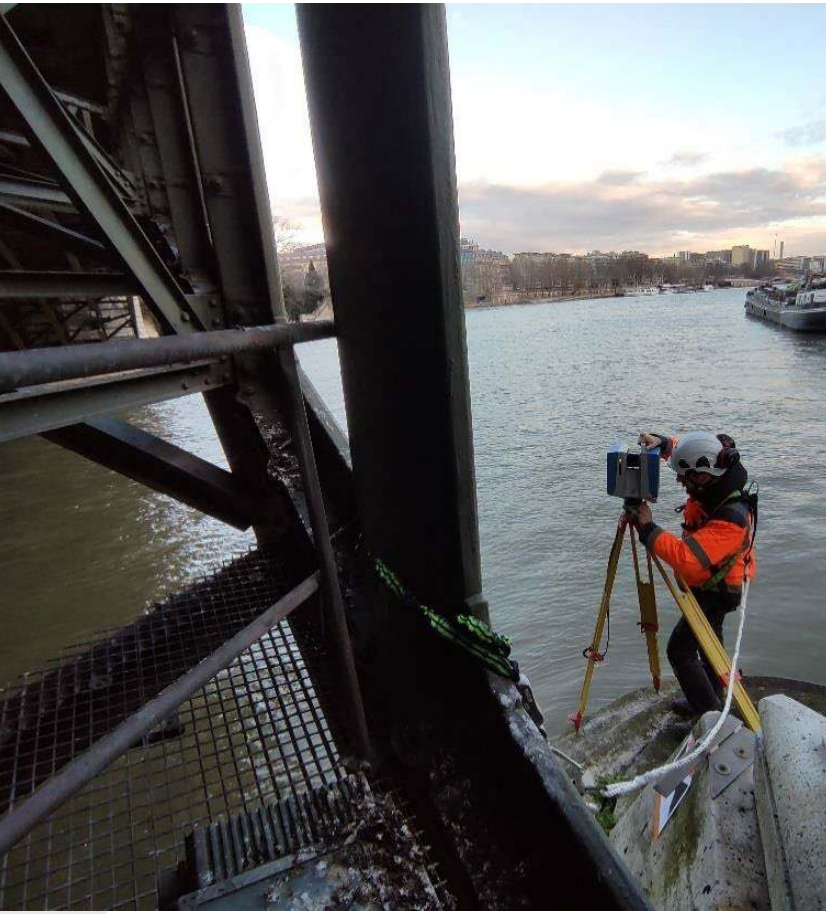
SITES est également intervenue à travers plusieurs campagnes de relevés pour réaliser et évaluer la géométrie de l'ouvrage. Ces campagnes comprennent :

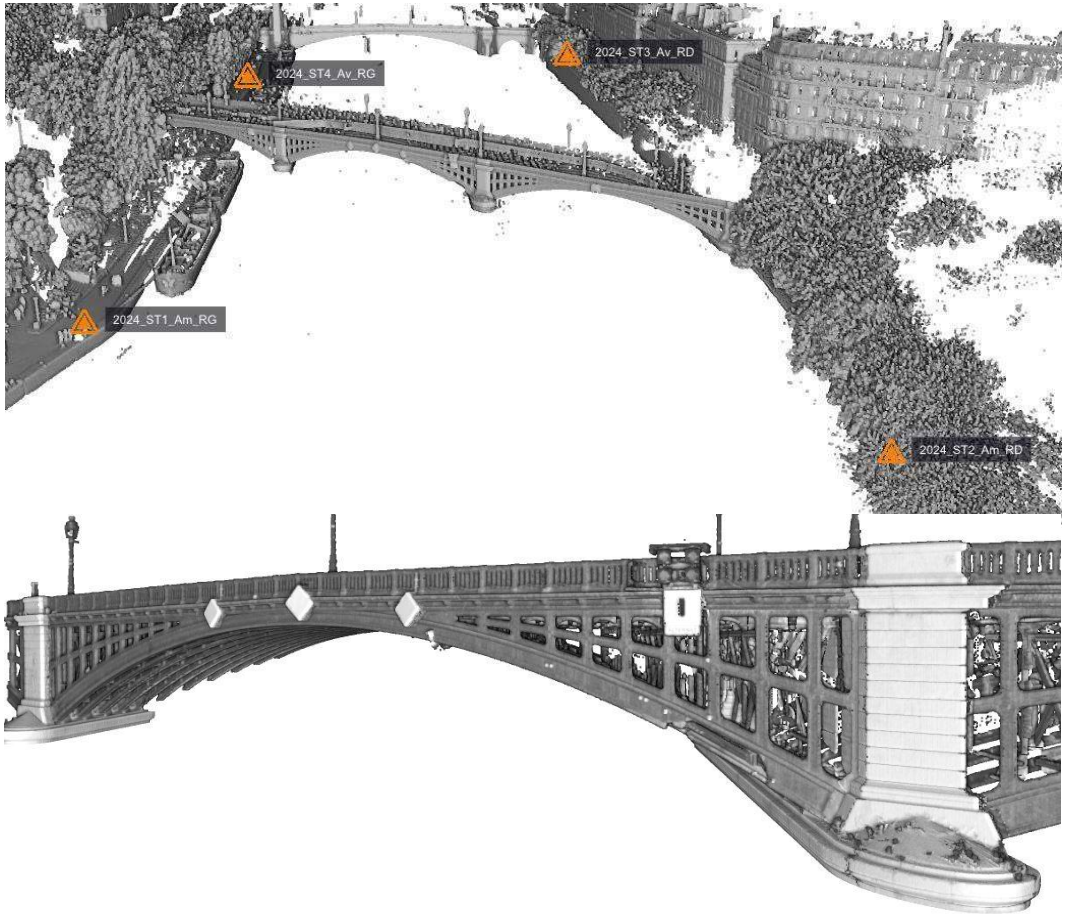
1. Un relevé au scanner laser

- Relevé par scanner laser fixe pour la production d'un nuage de points
- Une précédente campagne réalisée en 2018 : une comparaison est alors possible avec un état de référence
- Objectifs :
  - Repérage avant interventions
  - Vérifier la géométrie de l'ouvrage
  - Évaluer d'éventuelles déformations suite au choc

Relevés scanner

Réalisation des acquisitions :





Relevés scanner

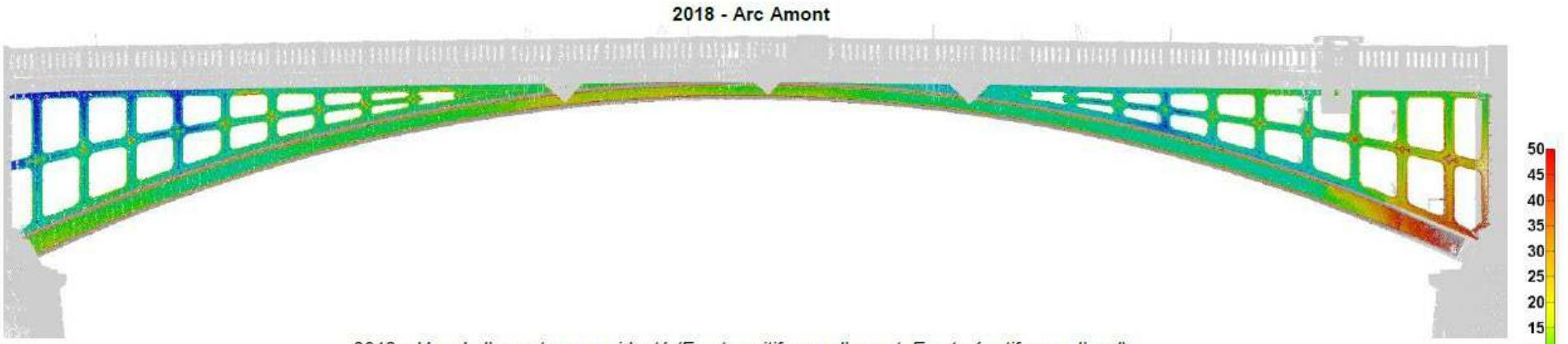
Visualisation des nuages de points et repérage :



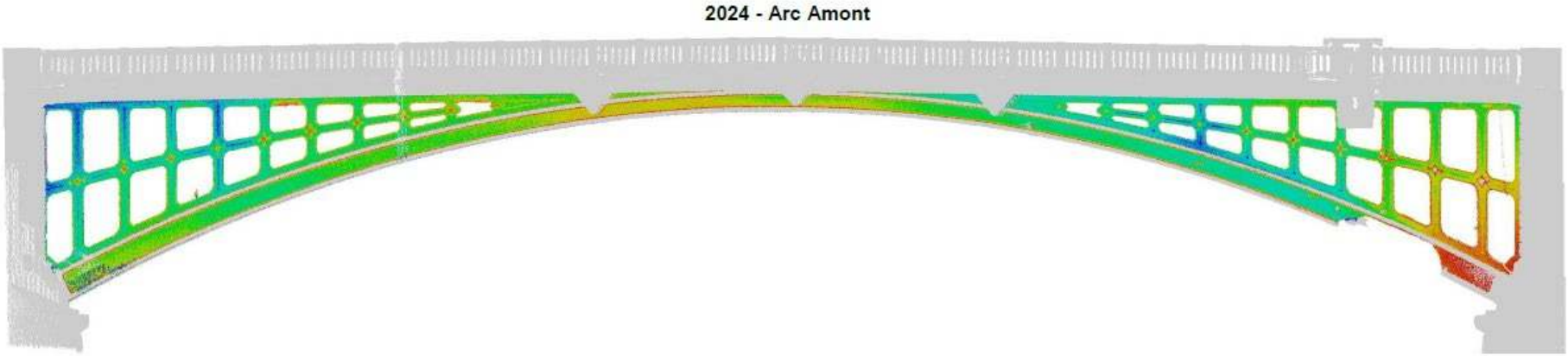


Relevés scanner

Comparaison 2018-2024 :



2018 – Vue de l'amont non accidenté (Ecart positif : vers l'amont. Ecart négatif : vers l'aval)



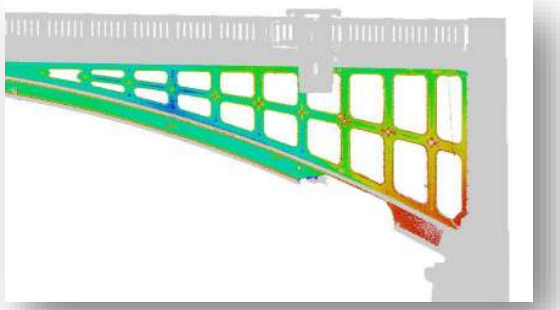
2024 – Vue de l'amont accidenté (Ecart positif : vers l'amont. Ecart négatif : vers l'aval)

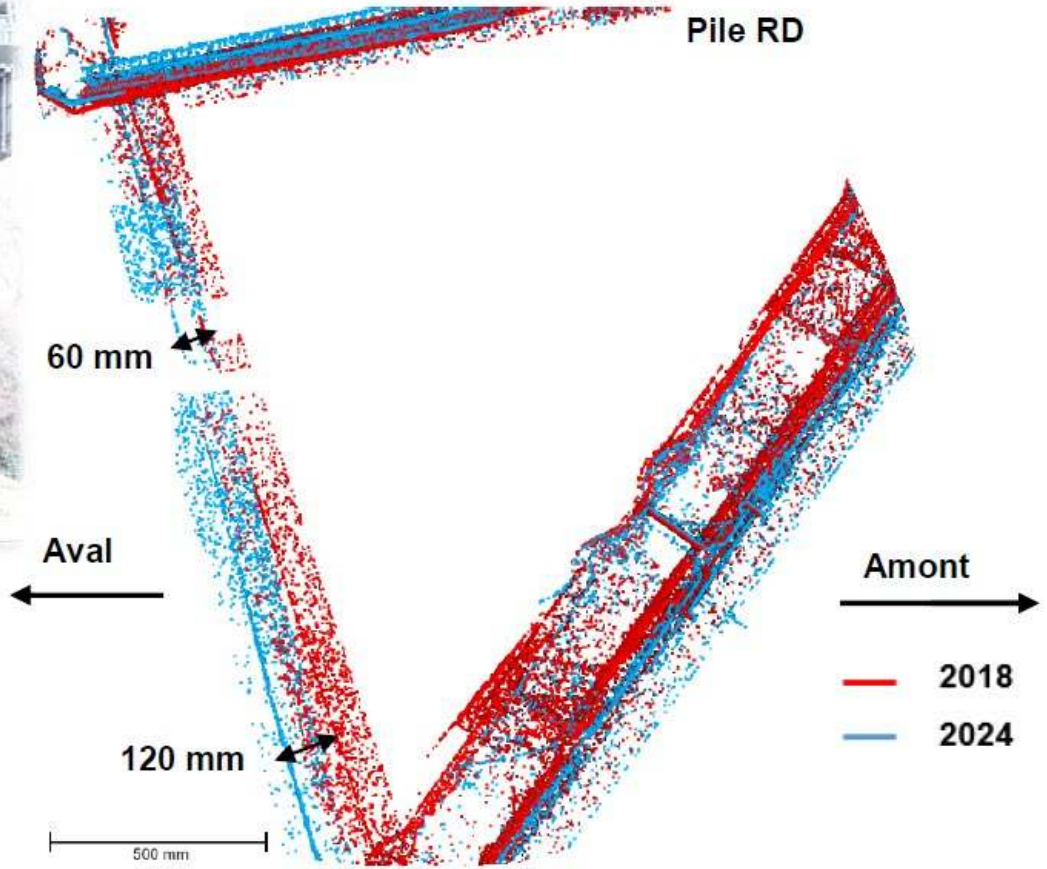
IMGC

Relevés scanner

Analyse des mouvements relatifs :







IMGC

Relevés photogrammétriques

SITES est également intervenue à travers plusieurs campagnes de relevés pour réaliser et évaluer la géométrie de l'ouvrage. Ces campagnes comprennent :

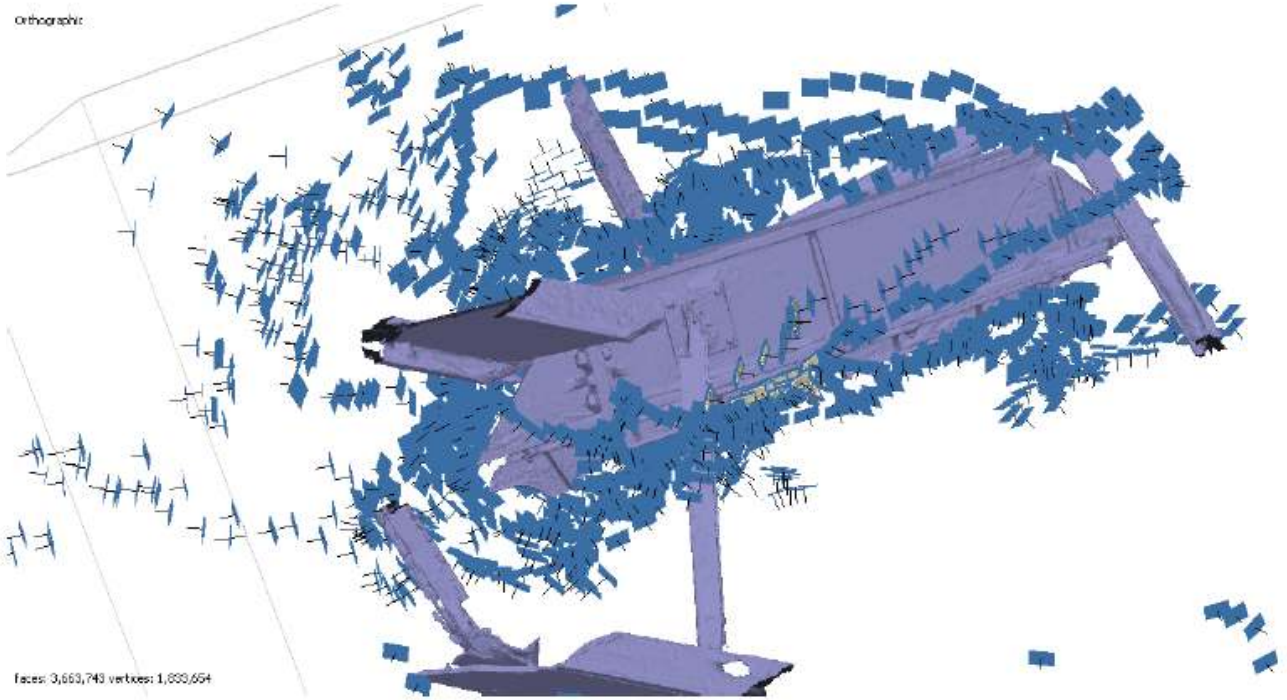
2. Un relevé photogrammétrique par drone

- Besoin d'un relevé géométrique fin d'une section de poutre cassée et en équilibre sur l'ouvrage.
- Construction par photogrammétrie pour simplifier le calcul du volume de la pièce.
- Volume 3D > calcul du centre de masse, pour déterminer l'équilibre de la pièce et le basculement le plus simple.

Relevés photogrammétriques

Acquisitions photos réalisées par des drones :



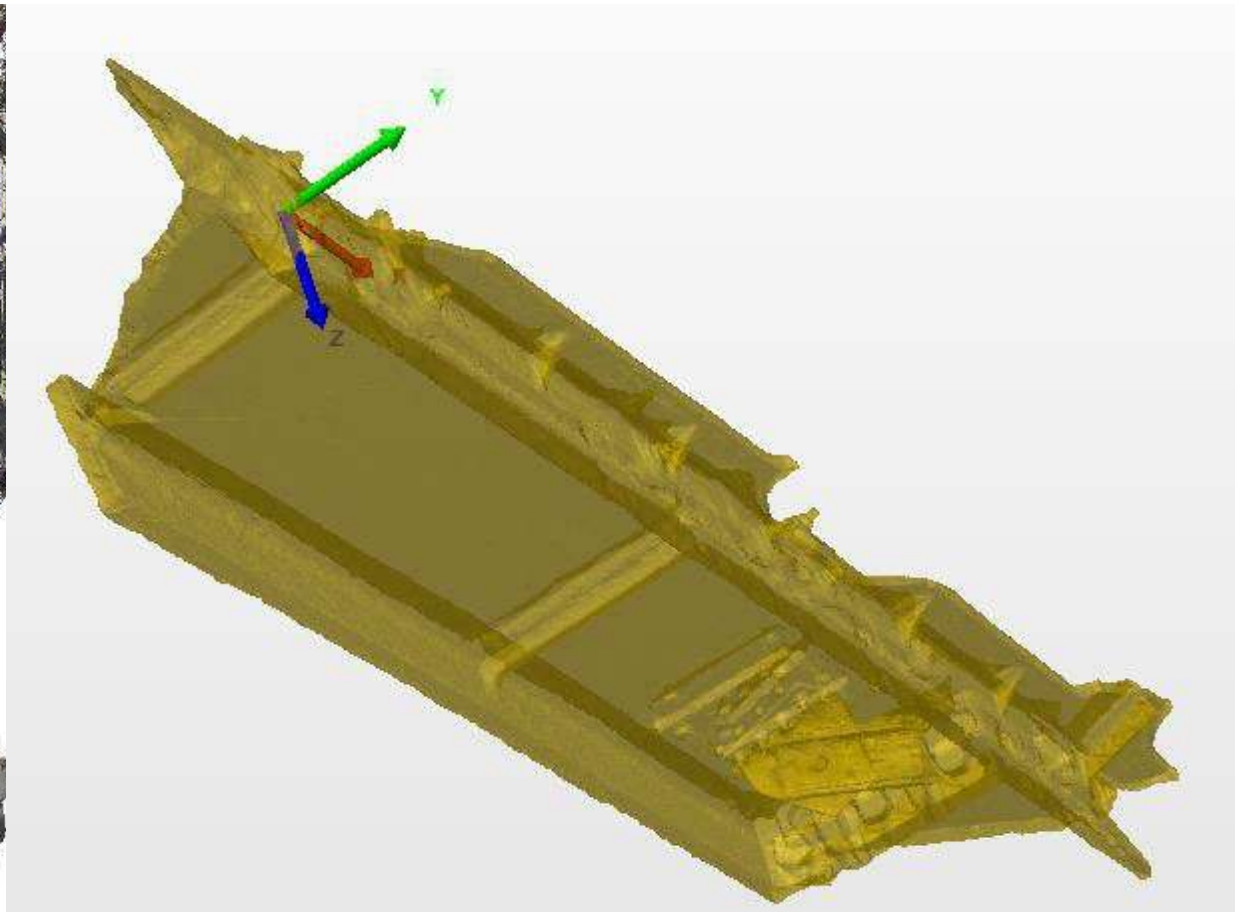


Positionnement des 2016 images alignées autour de l'arc à inspecter

Relevés photogrammétriques

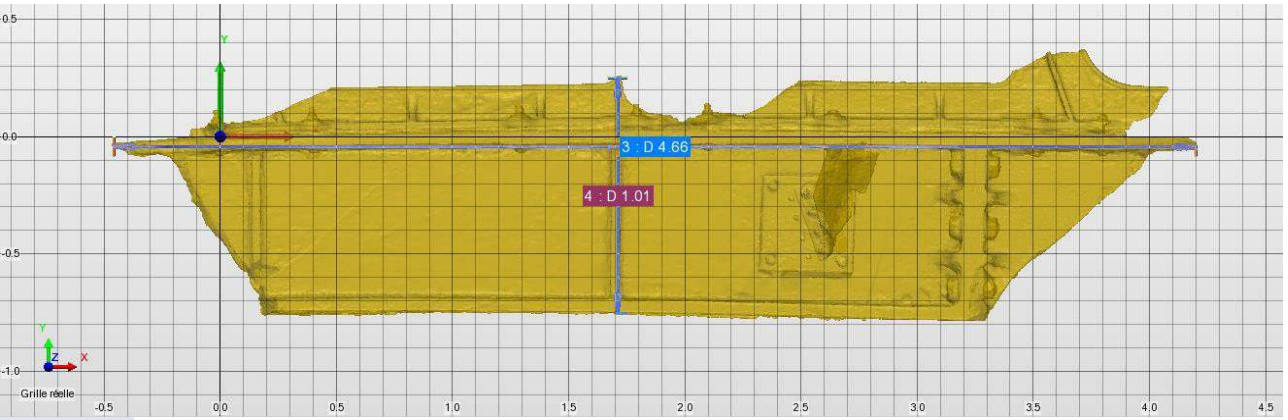
Modélisation géométrique de la pièce en équilibre :

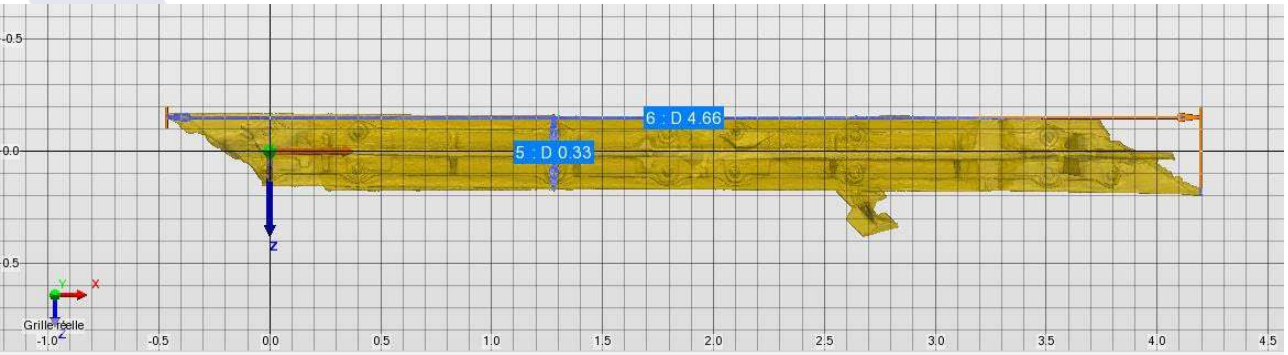


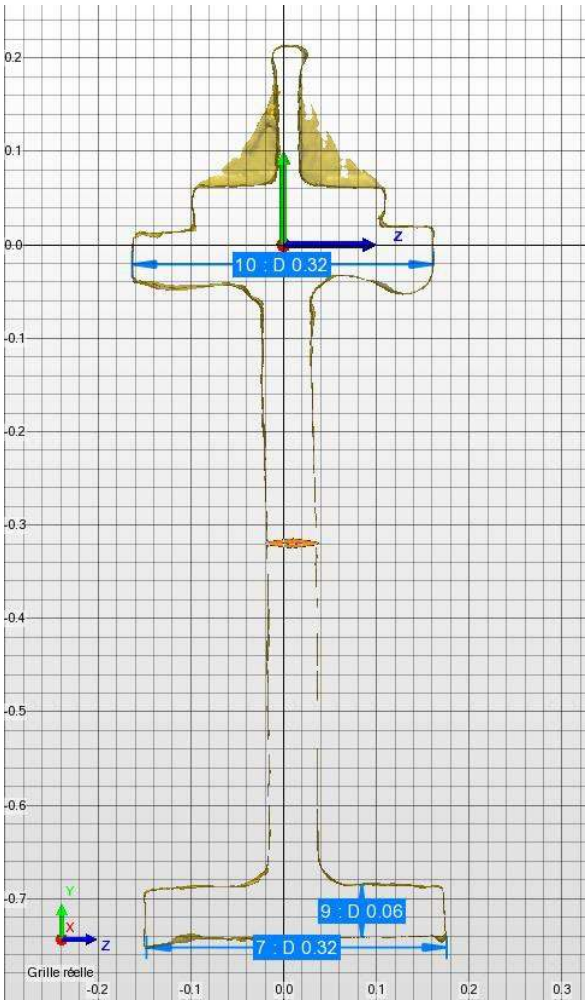


Relevés photogrammétriques

Calcul du barycentre de la pièce :







Monitoring en continu

Un système de suivi des mouvements du pont 24h/24 en temps réel a été mis en service. Ce dernier repose sur l'utilisation d'une station robotisée installée sur la rive pour suivre les mouvements verticaux de points répartis sur l'ouvrage.

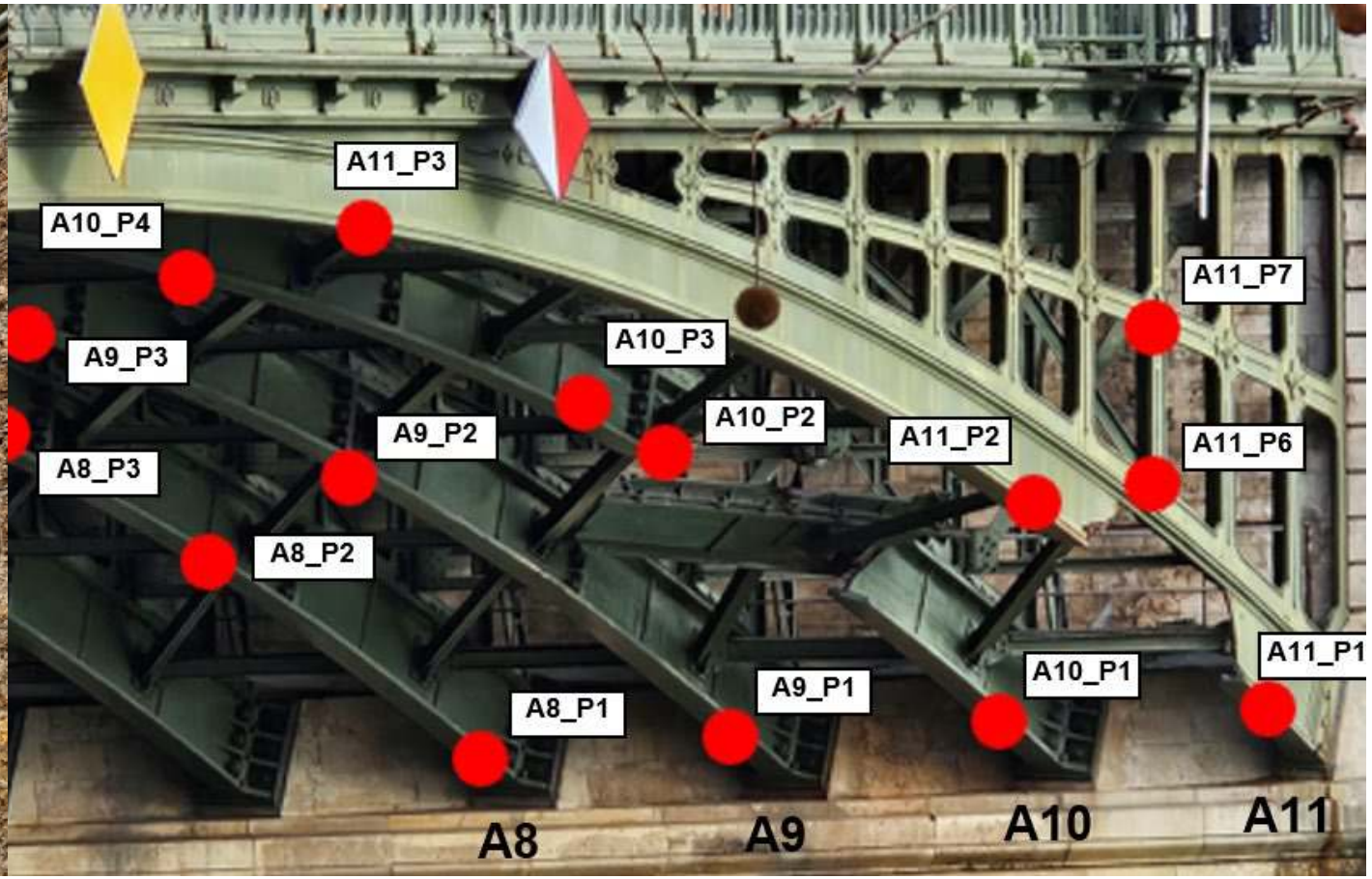
Les objectifs sont multiples :

- Assurer le suivi du comportement de l'ouvrage au cours du temps, notamment lors des travaux.
- Permettre l'ouverture de créneaux navigables après avoir confirmé le comportement de l'ouvrage sur la journée.

Monitoring en continu

Déploiement de la station robotisée en bord de seine :

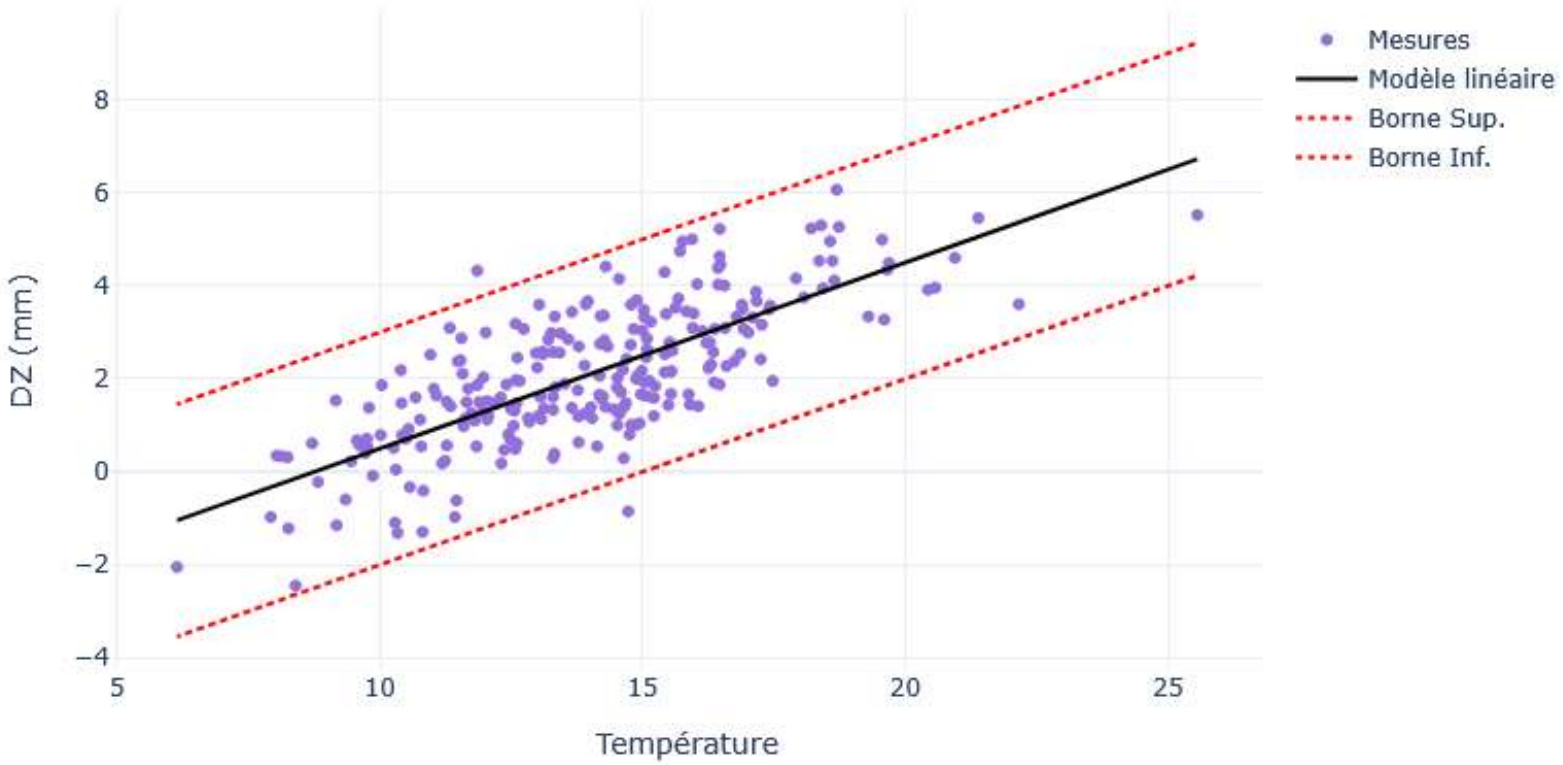




Monitoring en continu

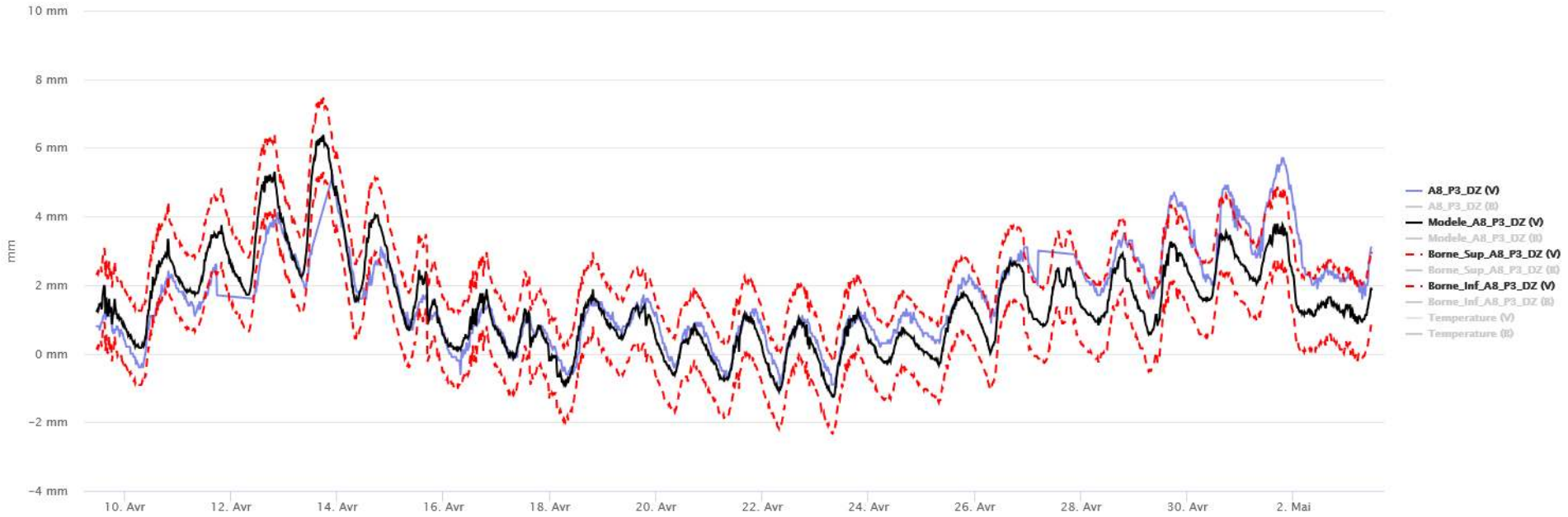
Focus sur les mouvements verticaux : objectif d'évaluer l'impact des variations de température sur le comportement de l'ouvrage.

Avantage : structure métallique = faible inertie = corrélation forte entre les mesures de température sur une poutre et les mouvements observés :



Monitoring en continu

Retranscription dans le domaine temporel pour un suivi en continu :



Approche validée avec le Cerema : mise à disposition d'une information 24h/24 7j/7 permettant de conforter la décision au jour par jour de l'ouverture au trafic fluvial grâce à l'interface en ligne.

Ville de Paris

➔ Bilan de l’opération

➔ Suites à donner

Suites, REX et leviers de réussite

- Suites post-travaux :
  - Un pont toujours sous surveillance notamment topo et inspections détaillées
  - Un pont à reconstruire..
- Principaux leviers de réussite :
  - Sens du service publique de tous les acteurs pour un objectif majeur
  - Mobilisation forte de l'ensemble des acteurs à tous les niveaux
    - projet « hors norme »
    - objectif/défi majeur à relever mais séquencé en plusieurs petites étapes

Merci

IMGC

Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil