

## Fiche bilan de l'appel à projets Ponts Connectés (2021-2023)

**Nom du projet : GEOPONT**

### LE CONSORTIUM

#### Partenaires :

- UBY : Entreprise spécialisée dans le monitoring structurel automatisé
- Spotlight : Entreprise spécialisée dans le traitement de données sismique
- CentraleSupélec : Grande école disposant notamment d'un laboratoire d'étude en mécanique des matériaux

#### Logos des entreprises :



**Montant du projet : 94 K€**

**Ouvrage(s) instrumenté(s) : Ponts de la communauté d'agglomération de Saint-Quentin en Yveline : EL02, MB31, MB32**

### LE PROJET

Le grand nombre de ponts dégradés en France ou dans le monde met en évidence l'importance de la mise en œuvre au bon moment de stratégies d'entretien et de maintenance efficaces et adaptées. En raison de la pyramide des âges des ouvrages d'art concernés et des volumes de trafic en augmentation constante, une détérioration croissante de l'état général des ponts a pu être observée au cours de la dernière décennie. La mission d'information sur la sécurité des ponts du Sénat de 2019 proposait de « définir des procédures de surveillance et d'entretien adaptées aux petits ponts » (Axe 3/Proposition 7).

Surveiller l'état d'un ouvrage, c'est se concentrer sur la détermination de l'aptitude au service d'un ouvrage, tout autant que sur son intégrité structurale. Le groupement mené par UBY vise à proposer des méthodes géophysiques matures et innovantes pour répondre à ce besoin tout en respectant une contrainte d'opération et de budget.

Le projet se focalise essentiellement sur les ouvrages en béton, qui constituent la grande majorité des ponts routiers. Récemment, plusieurs méthodes géophysiques modernes ont été adaptées à l'étude de l'aptitude au service et à l'intégrité structurale d'ouvrages. Elles contribuent à produire une réalité augmentée de l'intérieur de ces ouvrages et ainsi détecter diverses modifications mécaniques. L'un des objectifs du projet est d'étudier leur applicabilité en condition réelle.

Deux méthodes géophysiques sont visées par le projet : de maturités techniques différentes, elles ont pour but de constituer une base d'analyse globale des ouvrages. Il s'agit des méthodes géophysiques de géoradar et de sismique active. Les développements réalisés dans le cadre de ce projet sont destinés à démontrer les briques technologiques et opérationnelles indispensables

pour faire de ces méthodes géophysiques des outils opérationnels, fiables, pertinents et peu coûteux de la surveillance des ouvrages.

Ce programme a été mené avec l'aide de nos partenaires :

- Bridgology pour l'acquisition, le traitement et l'analyse des données géoradar
- La communauté d'agglomération de Saint-Quentin en Yveline pour la mise à disposition du matériel d'étude.

## LES AVANCEES TECHNIQUES

### Géoradar

L'inspection d'un tablier de pont à l'aide d'un géoradar permet de cartographier sa structure interne (épaisseurs des différents composants, homogénéité, présence de vide, desquamation, design anormal des armatures ...). Notre étude a poussé plus loin les capacités du géoradar en cartographiant également le risque de corrosion dans l'ouvrage et en identifiant ainsi de nouveaux désordres potentiels. Le traitement numérique des données géoradar a été en partie automatisé pour réduire le temps entre la campagne de sondage et la publication des résultats. Un protocole de mesure a été établi et permet de mettre en place cette technique en ne fermant la voie que pour une durée restreinte : 1 heure pour l'installation + 1h pour 300m<sup>2</sup> de tablier. Des mesures par carottage restent recommandées mais limitées à 2 prélèvements pour caler finement les cartes de risque de corrosion.

Enfin, l'archivage des données géoradar a été intégré dans une application de gestion de parc d'ouvrage pour permettre de suivre dans le temps l'évolution du tablier en comparant les cartographies d'année en année.

### Sismique active

Pour l'analyse sismique, certaines mesures se sont montrées cohérentes avec les mesures géoradar. Ainsi nous avons pu retrouver des zones de désordre identifiées au géoradar grâce à la méthode sismique en analysant par exemple la variation de la vitesse de propagation des ondes et la densité spectrale de puissance (PSD). En utilisant la méthode PSD notamment, il a été possible dans certains cas de détecter des vides, l'énergie étant amplifiée de manière significative quand l'impact est réalisé dans la zone où le taux de corrosion est élevé.

Les cartes PSD générées à partir des simulations numériques sont modifiées avec un vide peu profond. Ces modifications de la distribution de la densité de puissance peuvent être expliquées par les réflexions des ondes qui se produisent à l'intérieur du vide.

Chaque ouvrage dispose de sa propre signature sismique. Les principaux critères de différences sont : la présence de certaines ondes spécifiques à certains ouvrages, l'absence de certaines fréquences (parfois les fréquences supérieures à 1000 Hz étaient filtrées alors que sur d'autres ouvrages il a été mesuré des signaux jusqu'à 4000 Hz), des notches fréquentiels, des amplitudes différentes pour certaines ondes. Tous ces attributs sont sensibles aux variations des matériaux du pont et peuvent donc être pertinents pour leurs suivis.

## LES PERSPECTIVES D'AVENIR

Le projet a montré que la méthode de sismique active pourrait mettre en évidence la présence de désordres dans un ouvrage d'art en béton armé. Il faut maintenant simplifier le protocole opérationnel. Nous avons mis en place des chaînes de 48 géophones mais l'objectif final est

d'analyser un ouvrage avec un protocole utilisant 2 ou 3 géophones seulement. L'objectif est également de permettre l'intégration définitive des géophones à l'ouvrage pour supprimer les fermetures de voies. Une analyse temporelle sur plusieurs années permettra également de valider la sensibilité de la sismique active aux variations de matériaux.

Opérationnellement les porteurs du projet sont confiants qu'une installation permanente de capteurs serait abordable économiquement et limiterait grandement les temps de fermeture de route.

Concernant le géoradar, c'est principalement du côté du matériel que nous pensons que viendra la prochaine avancée. Nous avons par exemple testé au cours de ce projet un géoradar tracté par un véhicule à 40km/h. Malheureusement cette version ne permet pas d'atteindre le niveau de précision nécessaire mais à l'avenir ce type de matériel pourrait être utilisé pour supprimer les temps de fermeture de route et réduire les coûts associés.

## **LES BENEFICES POUR LA GESTION DU PATRIMOINE**

A terme, si la mesure sismique avec un faible nombre de géophones est définie, elle permettrait de rendre compte très rapidement, et à faible coût, de l'état global d'un ouvrage. Comme un système d'alarme, cet outil pourrait être utilisé par les ingénieurs lors des campagnes d'inspection détaillées. Il permettrait de lever des alertes sans donner la localisation exacte des désordres. Ensuite des relevés plus poussés, notamment à l'aide d'un géoradar, pourraient être utilisés pour localiser précisément les désordres et définir leur nature.

Le Géoradar est une méthode non intrusive qui permet d'analyser la structure interne des ouvrages tout en réduisant les interruptions de trafic.

La première étape du traitement géoradar fournit déjà des données intéressantes pour les responsables des parcs d'ouvrages d'art puisqu'elle permet de modéliser les interfaces entre les différentes couches constituant le tablier. Classiquement l'épaisseur d'enrobé bitumineux, son homogénéité, l'épaisseur du béton d'enrobage, la profondeur des armatures (y compris les câbles de précontrainte), et l'espacement entre les armatures sont estimés dès le premier traitement. Les analyses plus poussées permettent de cibler les zones avec des risques de corrosion pour les armatures.

L'automatisation du traitement des données a permis de réduire le temps d'analyse et donc les coûts de la méthode. Une gestion de données efficace et sécurisée sera absolument nécessaire pour un projet industriel.

Pour conclure, nous pensons faciliter la préservation des ouvrages en condition d'exploitation grâce à ces deux méthodes complémentaires dont le but est de rendre compte de manière fiable et objective de l'état de vétusté des ouvrages. Les outils dont nous disposons permettent d'optimiser les coûts de maintenance d'un parc en levant les alertes au bon moment, sur les bons ouvrages et en ciblant précisément les zones problématiques.

## LES PHOTOGRAPHIES



Figure 1 : Utilisation du géoradar

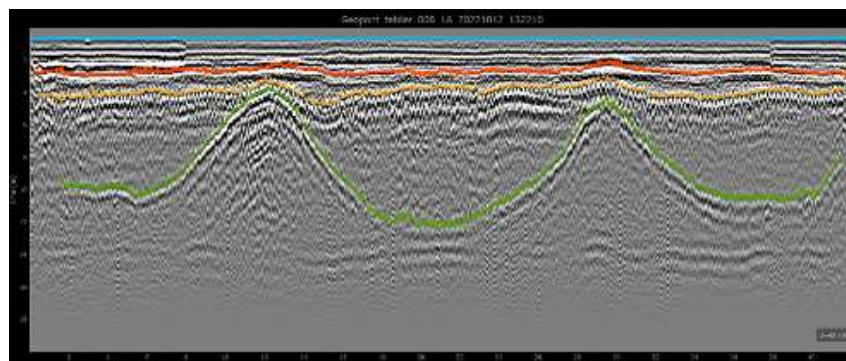


Figure 2 : Trace géoradar analysée

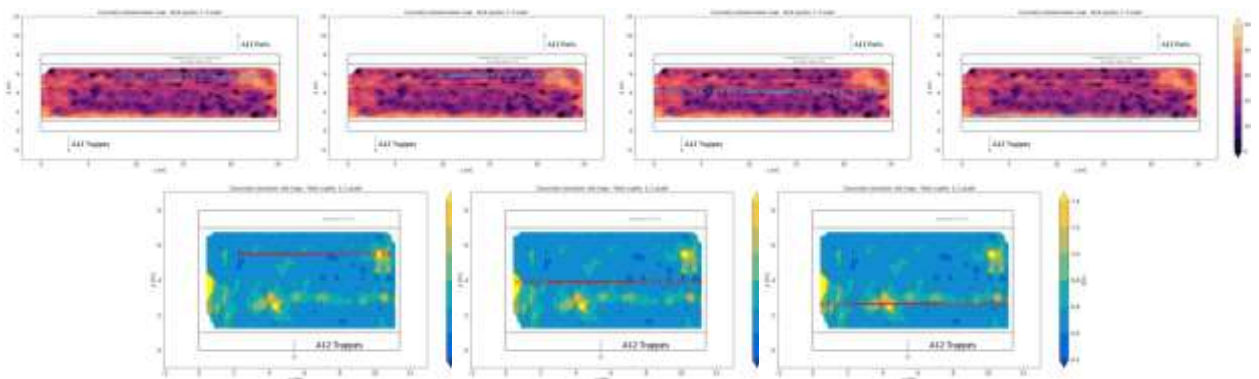


Figure 3 : Cartographie géoradar du tablier



Figure 4 : Carotteuse pour réalisation de prélèvement



Figure 5 : Déploiement de la chaîne de géophone (sismique active)



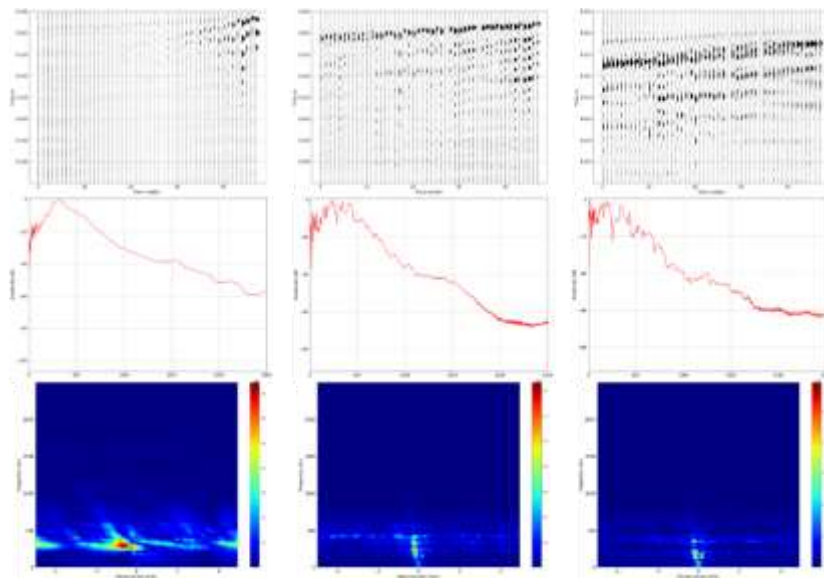


Figure 6 : donnée sismique brute et analyse

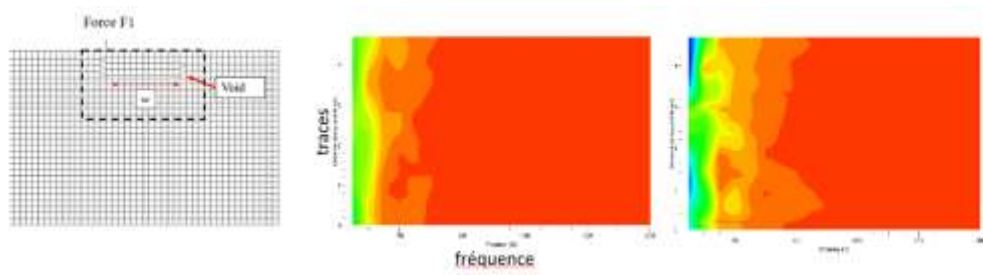


Figure 7 : Modélisation d'un ouvrage aux éléments finis et analyse de la propagation de l'onde