

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

Nom du projet : CI3S – Chaîne Intelligente de Surveillance de la Santé Structurale

LE CONSORTIUM

Partenaires : CIDECO, Université Clermont Auvergne et Département du Puy-de-Dôme



Montant du projet : 337 162 €

Ouvrage(s) instrumenté(s) : 5 ouvrages dans le département du Puy-de-Dôme : Pont de Parentignat, Pont de Dallet, Pont de Longues, Pont de Cournon, et Viaduc de Rochefort.

LE PROJET

Le projet CI3S réunit plusieurs partenaires stratégiques, chacun apportant une expertise complémentaire. CIDECO, une entreprise innovante spécialisée en diagnostic et surveillance structurelle, s'est associée à l'Université Clermont Auvergne pour la recherche académique et au Département du Puy-de-Dôme pour les applications pratiques.

CI3S est un système complet d'instrumentation basé sur le couplage de l'intelligence artificielle et les méthodes d'identification modale. Il permet la détection et la localisation des désordres en temps réel, d'une part, et la planification optimale de la maintenance prédictive du parc d'ouvrages sous surveillance, d'autre part.

Le projet CI3S comprend :

- le développement d'un système de mesure complet de fabrication locale, capteurs et gateway, d'une grande précision et avec des coûts considérablement réduits ;
- l'élaboration d'algorithmes performants d'intelligence artificielle et de méthodes d'identification modale, implémentés dans une plateforme d'exploitation dédiée ;
- la validation des moyens de mesure et des algorithmes sur des maquettes en laboratoire, sous des scénarii de dégradation maîtrisés ;
- l'application sur cinq ouvrages dans le département du Puy-de-Dôme, avec des typologies variées, afin de valider le caractère opérationnel de la solution développée.

La localisation précise des désordres dans l'ouvrage est garantie par l'exploitation des techniques d'identification modale dans l'algorithme d'apprentissage profond. Différentes stratégies d'intelligence artificielle ont été appliquées et comparées, afin de valider le modèle retenu. Des procédures innovantes d'acquisition et de filtrage ont été spécifiquement développées pour garantir la robustesse de la méthodologie.

Après validation sur des maquettes en laboratoire, le système de surveillance a été installé sur cinq ouvrages du Puy-de-Dôme. Les accélérations mesurées et traitées par les algorithmes nous

permettent d'obtenir les indicateurs de l'état de santé de l'ouvrage, y compris la localisation et la quantification des désordres. La plateforme numérique et les outils logiciels développés montrent de grandes performances en termes de détection et de localisation des désordres.

L'exploitation des données, sous conditions normales de trafic et lors des essais de chargement réalisés par le CEREMA sur le pont de Longues a permis de confirmer les performances de la solution CI3S. Des désordres de faible amplitude, correspondant à l'ouverture des joints engendrée par la décompression du béton précontraint, ont été localisés par nos algorithmes.

L'ensemble des résultats obtenus, et notamment le traitement des données mesurées sur les ouvrages en service, démontre le caractère opérationnel de la solution développée.

LES AVANCEES TECHNIQUES

Le projet CI3S a permis d'importantes avancées techniques par rapport à l'état de l'art :

- **Capacité de détection et localisation des désordres** : Identification et localisation des désordres dès leur apparition, même sous trafic normal et sans connaissance préalable des charges appliquées.
- **Algorithmes robustes** : Élaboration d'algorithmes performants couplant l'intelligence artificielle et l'identification modale pour détecter les évolutions infimes dans la signature numérique des ponts, réduisant ainsi les fausses alertes.
- **Procédures de filtrage et d'échantillonnage** : Techniques avancées pour l'analyse des courbures des modes vibratoires.
- **Chaine de mesure optimisée** : Conception d'une chaine de mesure intégrant capteurs, système de collecte et de transmission adaptés à la surveillance vibratoire.
- **Plateforme de surveillance en temps réel** : Développement d'une plateforme Web pour une surveillance continue et une gestion proactive des infrastructures.

LES PERSPECTIVES D'AVENIR

Grâce aux avancées du projet CI3S, nous envisageons les perspectives suivantes :

- Réalisation de POCs (Proof of Concept) avec des maîtres d'ouvrages, pour confirmer les performances de la solution CI3S sur différents types d'ouvrages et de défauts ;
- Implémentation de l'intelligence artificielle au niveau des dispositifs de mesure, pour limiter le volume des données transmises par les réseaux ;
- Développement d'algorithmes adaptés à la détection des désordres préexistants dans l'ouvrage (avant la mise en place de l'instrumentation) ; i.e. utiliser la surveillance comme outil de diagnostic, sans état de référence ;
- Extension des techniques de détection à de nouveaux types de désordres, comme par exemple la perte de précontrainte sans décompression, et les ruptures de fils dans les câbles des ponts haubanés.

LES BENEFICES POUR LA GESTION DU PATRIMOINE

La solution CI3S offre aux maîtres d'ouvrage les bénéfices suivants :

- Maintenance prédictive efficace, grâce à une installation simple et un coût réduit ;
- Optimisation des interventions d'inspection, grâce à la localisation et à la quantification des désordres dans l'ouvrage ;
- Mise à disposition d'indicateurs de santé permettant de garantir la sécurité des ouvrages et d'anticiper l'occurrence des désordres ;

- Capacité de prévision de la durée de vie résiduelle, via une surveillance continue de l'état de santé de l'ouvrage.

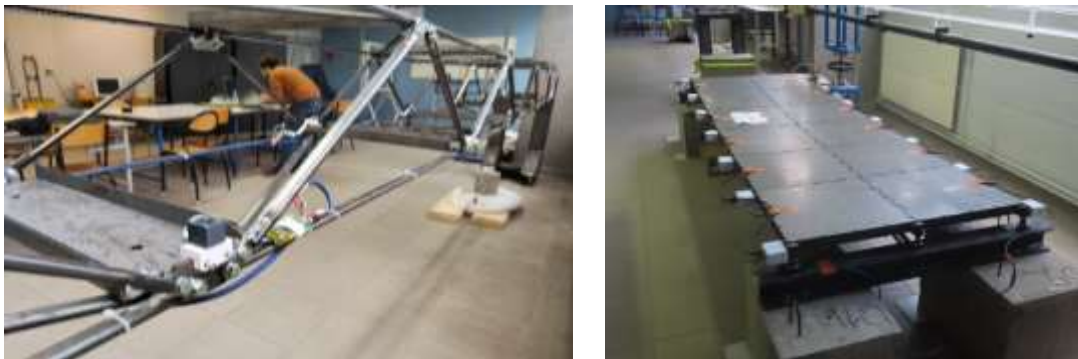
LES PHOTOGRAPHIES

Développement de capteurs intelligents

Le système d'instrumentation a été entièrement développé dans le cadre du projet CI3S, pour satisfaire les objectifs visés, en termes de performances et de coûts.



Ces capteurs, qui disposent d'une capacité de présélection des données informatives, ont été installés sur des maquettes en laboratoire pour confirmer les performances attendues.

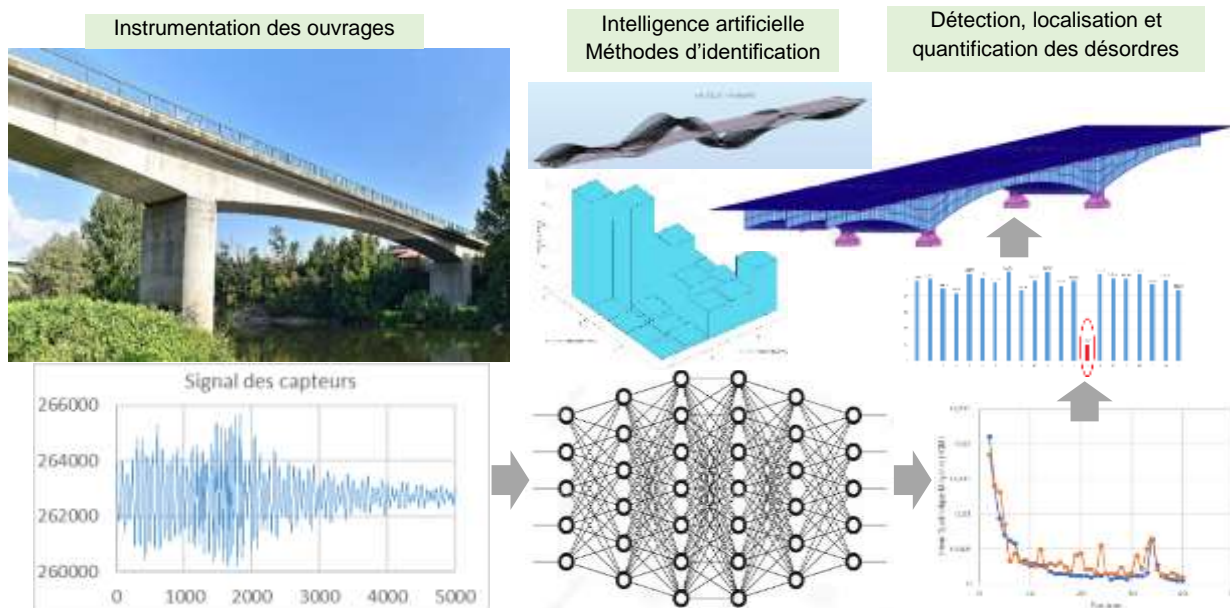


Le système d'instrumentation a ensuite été déployé sur cinq ponts, en béton et en acier, dans le département du Puy-de-Dôme. Les accélérations mesurées en temps réel permettent d'alimenter les algorithmes d'identification et d'intelligence artificielle.

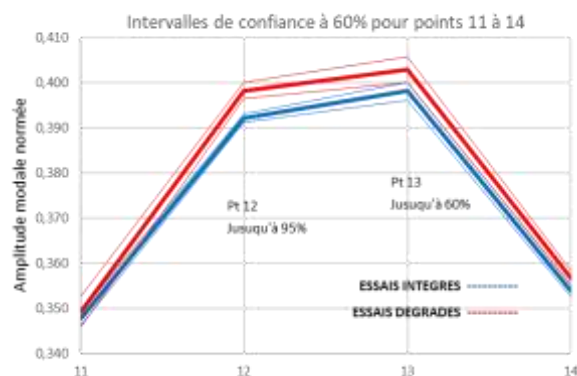


Surveillance des ouvrages du Puy-de-Dôme

La méthodologie d'analyse, qui a permis de valider les performances des algorithmes dans des situations réelles, est illustrée sur le schéma suivant.



Le pont de Longues représente un cas d'étude très intéressant, compte tenu de la surveillance effectuée en parallèle sur l'ouvrage par le CEREMA. La solution CI3S a permis de détecter et surtout de localiser la décompression du béton et l'ouverture du joint entre voussoirs.



La plateforme Web offre un tableau de bord qui facilite la surveillance pour les maîtres d'ouvrage, en permettant l'exploitation des données de façon simple et efficace.

