

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

Nom du projet : CAHPREEX

LE CONSORTIUM

Partenaires :

UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL : université unique et pionnière composée de six organismes couvrant des thématiques multidisciplinaires destinées à répondre à la continuelle transformation des villes

UNIVERSITE BRETAGNE OCCIDENTALE : établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel pour le développement de la recherche et à l'élévation du niveau scientifique, culturel et professionnel de la nation.

APRR : Concessionnaire d'autoroutes

ARTELIA : Groupe d'ingénierie indépendante & multidisciplinaire



Montant du projet : 338'065 €

Ouvrage(s) instrumenté(s) : Viaduc de Sylans sur A40

LE PROJET

Le projet s'intéresse à la détection de la corrosion des câbles dans les ouvrages précontraints ou à haubans. Cette pathologie est difficilement détectable lors des inspections ou par des moyens CND (Contrôle Non Destructif) classiques. Pourtant, connaître l'état de dégradation en corrosion de certains composants d'ouvrage est un point capital en termes de gestion patrimoniale, le risque de ruine partielle ou totale existe comme l'a montré l'actualité récente.

Afin de surveiller l'état de corrosion dans les unités de précontrainte et les ancrages de haubans, des capteurs basés sur la technologie RFID passive ont été développés dans le cadre du projet. Grâce à leur autonomie et leur faible coût, l'inspection de ces parties d'ouvrages sera rendue plus facile par une interrogation à distance (localisation et état des capteurs), avec un résultat plus fiable, favorisant ainsi une approche de maintenance préventive et prédictive plutôt qu'une approche curative.

Après une phase de développement / optimisation technologique puis de tests sur corps d'épreuve représentatifs des parties d'ouvrages étudiées, ces capteurs ont été déployés in situ sur différents ouvrages du réseau APRR.

Suite à l'élaboration du cahier des charges, L'articulation du projet s'est faite autour de 3 axes majeurs :

- Axe A : Suivi de la corrosion à l'intérieur des gaines de précontrainte extérieure
- Axe B : Suivi de la corrosion au niveau des ancrages de précontrainte extérieure et de hauban
- Axe C : Suivi de la déformation de la section des gaines de précontrainte extérieure

LES AVANCEES TECHNIQUES

Axe A : détection de corrosion sous gaine de précontrainte extérieure

Les capteurs de l'axe A sont actuellement les capteurs les plus avancés du projet avec une volonté de développement axé sur l'adaptabilité et la précision de ces capteurs. En place sur le viaduc de Sylans sur A40 depuis août 2023 et en enceinte de vieillissement accéléré, ils ont démontré leur performance de durabilité et d'efficacité. Les possibilités d'intervention de feuillet métallique en fonction de l'agent de corrosion du site, les possibilités d'adaptation d'épaisseur de nos capteurs en fonction du seuil souhaité et les possibilités de mise en ambiance sous coulis de ciment, cire pétrolière ou graisse permettent d'envisager une diversité d'application tant sur des ouvrages neufs que sur des ouvrages existants en garantissant des performances optimales.

Actuellement, les capteurs en place sur Sylans sont toujours opérationnels. Ne nécessitant pas d'énergie pour communiquer leurs données, il n'y a pas de risque de perte de signal ou de données et l'acquisition est réalisée avec une antenne portable que tout inspecteur peut manipuler aisément lors de ses visites d'inspections détaillées périodiques. Ces capteurs étant positionnés sous les gaines de réparation des manchons ou des anciennes prises en charge, leur durée de vie couvrira la durée de vie restante de l'ouvrage soit un peu plus de 70 ans.

Ces capteurs constituent des indicateurs témoin pour les inspecteurs qui pourront vérifier l'état de corrosion des torons, sans avoir besoin d'ouvrir la gaine PEHD. Cette technologie est adaptée tant pour des ouvrages existants pour contrôler dans le temps l'efficacité des réparations de gaine PEHD effectuées que sur des ouvrages neufs pour insérer dès la conception de câbles de précontrainte ou de hauban des indicateurs de vieillissement permettant de compléter l'état IQOA de l'ouvrage.

Axe B : Capteurs de corrosion intégrés aux ancrages

Les capteurs de l'axe B restent à finaliser et à tester in situ mais la solution est prometteuse. Les premiers essais en laboratoire ont permis de valider le principe de détection de l'eau dans un ancrage mais la poursuite d'un développement d'un presse-étoupe adapté est cruciale pour assurer l'étanchéité et la protection des capteurs dans des environnements exigeants.

Ce type de capteurs économique de détection d'eau peut être envisagé pour d'autres applications en ouvrages d'art et plus largement dans le milieu du génie civil. Sa robustesse est garantie par sa conception.

Axe C : Capteurs de déformation sur gaines

Les capteurs de l'axe C sont les capteurs les plus prometteurs en termes d'indicateurs de déformation à faible coût. Leur technologie reposant sur une valeur de signal de réception en fonction d'une déformation limite souhaitée, leur champ d'application en ouvrages d'art est vaste.

Pour les câbles de précontrainte injectés au coulis de ciment, la mise en place de tels capteurs au droit de chaque discontinuité de gaine PEHD, de chaque déviateur de câbles ou de chaque blessure de gaine permet de suivre de manière fiable la déformation de la gaine dans le temps.

Ainsi, tout inspecteur équipé d'une antenne RFID pourrait interroger à chaque inspection détaillée ces indicateurs témoin pour vérifier si une ouverture de gaine est nécessaire du fait d'un gonflement limite de la gaine (gonflement susceptible de cacher une rupture de fil de toron ou une corrosion importante de toron).

Les essais en laboratoire sur ce type de capteurs permettent de confirmer leur fonctionnement. Leur design à améliorer dans les futurs développements garantit une bonne tenue dans le temps même vis-à-vis de conditions d'ambiances sévères.

LES PERSPECTIVES D'AVENIR

Axe A : détection de corrosion sous gaine de précontrainte extérieure

Les améliorations possibles pour ce type de capteur résident dans sa dimension fonction de la production standard disponible des puces RFID. Afin d'adapter ces capteurs pour des réparations plus petites de gaines PEHD (pastilles de réparation ou manchon électrosoudable) ou pour des applications dans des endroits exigus (moins de 25 cm²), le développement nécessaire est aisé car les puces RFID peuvent être produites pour des dimensions plus petites. Néanmoins, il faudrait un besoin conséquent de ces puces miniaturisées pour retrouver un prix bas à l'instar des puces standard. Cette étude de marché sur la miniaturisation de ces capteurs reste à réaliser après ce projet.

L'autre piste d'amélioration repose sur la détection longue distance de ces capteurs sous gaine. Cette piste d'amélioration est délicate pour ces capteurs car la position du capteur sous gaine en dépend mais également sa dimension (plus on arrivera à miniaturiser ces capteurs moins nous aurons de détection à distance). La recherche ou le développement d'une antenne de réception plus performante est une piste pour permettre une captation des capteurs au moins depuis le centre d'un caisson d'ouvrage.

Il reste donc des efforts de miniaturisation et de détection longue distance sur cet axe A tout en maintenant la robustesse et l'efficacité du capteur.

Axe B : Capteurs de corrosion intégrés aux ancrages

Les perspectives de développement sur cet axe B réside principalement sur sa transition potentielle vers un dispositif capable de réaliser des mesures automatiquement et d'envoyer les données sur de longues distances (protocole LoRa par exemple). Cette transition renforcerait l'efficacité et l'accessibilité du système pour des applications plus vastes sur ouvrages d'art.

L'autre point à finaliser est son adaptabilité aux différents capots d'ancrage de différentes longueurs injectés par différents procédés.

Axe C : Capteurs de déformation sur gaines

Pour achever le développement des capteurs de l'axe C, une recherche sur le gonflement des gaines PEHD de câbles injectés au coulis de ciment doit être menée. Cette recherche pourrait reposer sur des essais sur banc d'essai de rupture de fil pour appréhender l'évolution du périmètre de la gaine le long du câble et tester différents capteurs pour différents seuils de déclenchement. Cela nous permettra de concevoir des capteurs plus robustes et adaptés à des environnements variés.

L'amélioration de la portée d'interrogation est un objectif transversal à plusieurs axes. Une meilleure portée permettra d'atteindre de nouvelles applications et de répondre à des besoins plus vastes. La recherche ou le développement d'une antenne de réception plus performante est une piste pour permettre une captation des capteurs au moins depuis le centre d'un caisson d'ouvrage.

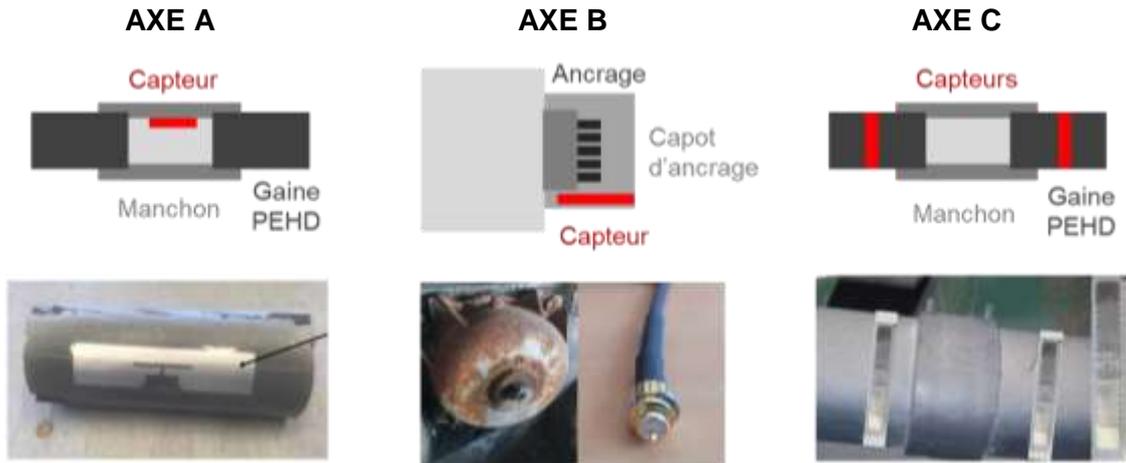
LES BENEFICES POUR LA GESTION DU PATRIMOINE

La gestion des câbles de précontrainte extérieure en gaines PEHD injectés au coulis de ciment ou la gestion des haubans avec gaine PEHD collectrice est une réelle problématique de surveillance pour les gestionnaires par manque de signes visibles de vieillissement. Cette problématique est encore plus renforcée quand ces câbles sont directement exposés à l'air libre soumis à des ambiances corrosives. Les désordres sur ces câbles sont souvent très minimes voir imperceptibles vu de l'extérieur mais les agents corrosifs une fois pénétrés à l'intérieur peuvent engendrer de gros dégâts.

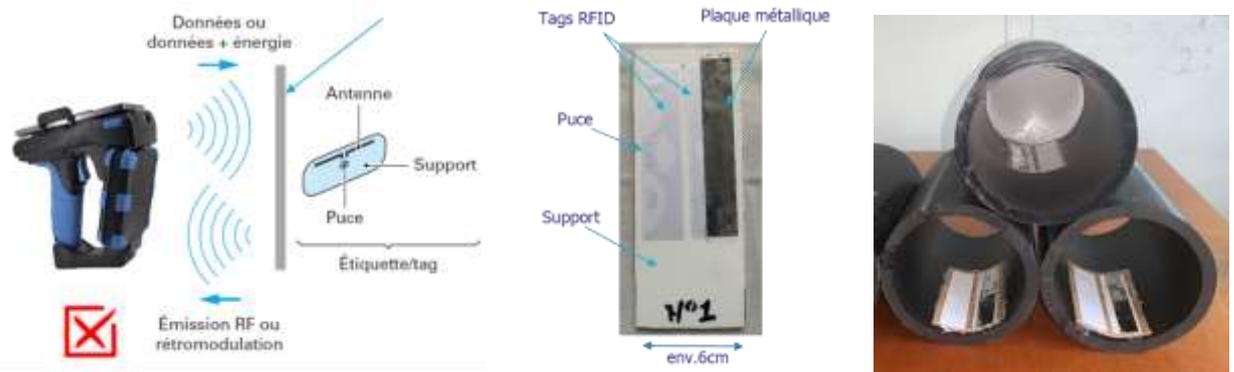
Le projet CAHPREEX répond ainsi entièrement à un besoin des gestionnaires pour leur donner de nouveaux indicateurs de surveillance sur ces câbles pour pouvoir suivre de manière plus précise des pathologies souvent invisibles sur les premiers stades de développement.

Néanmoins, ce projet doit être poursuivi pour aboutir à un outil d'aide à la décision fiable et clair pour un gestionnaire. L'une des pistes de travail pour finaliser ce projet est la création d'une interface simple d'acquisition des données de capteurs permettant à minima sur un plan 2D de repérer les capteurs et la valeur obtenue (par exemple OK ou NOK). Cette restitution de résultats permettra à tous gestionnaires de pouvoir consulter cette interface lors des restitutions de visites pour prévoir les éventuels diagnostics nécessaires sur les câbles.

LES PHOTOGRAPHIES

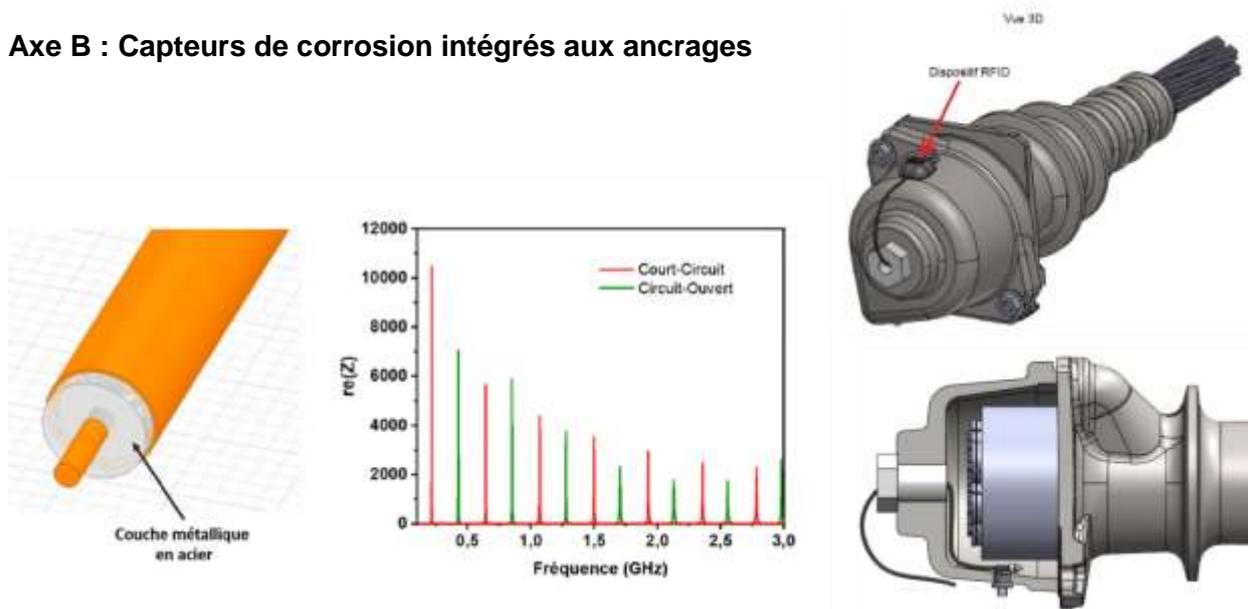


Axe A : détection de corrosion sous gaine de précontrainte extérieure





Axe B : Capteurs de corrosion intégrés aux ancrages



Axe C : Capteurs de déformation sur gaines

