

PROGRAMME NATIONAL PONTS- Appel à projets « Ponts Connectés

POINT D'AVANCEMENT A FIN- 2022



Nom du projet : GEOPONT

LE CONSORTIUM

Partenaires : Bouygues Travaux Publics, SpotLight, CentraleSupélec, Bridgology (sous-traitant)



Montant de la subvention : 313 801€

Ouvrage(s) instrumenté(s) : Ouvrages de la communauté d'agglomération de Saint-Quentin en Yvelines.

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 Bouygues Travaux Publics 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.

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

BENEFICES COLLECTIFS

Le suivi et l'évaluation de l'état réel des ponts, combinés à une prévision de l'état futur, sont donc essentiels à sa préservation patrimoniale. **Le groupement mené par Bouygues Travaux Publics vise à proposer des méthodes géophysiques matures et innovantes pour la surveillance des ouvrages en béton.**

Les méthodes géophysiques ont été employées en génie civil depuis de très nombreuses années. Sans surprise, elles ont été principalement utilisées sur des projets géotechniques pour étudier un sous-sol souvent complexe pour la construction de grandes infrastructures de génie civil. Ainsi, depuis plus de 25 ans, des méthodes comme le géoradar ou diverses techniques sismiques ont été mises en œuvre avec succès. **Les développements réalisés dans le cadre du projet sont destinés à faire des méthodes géophysiques des outils opérationnels, fiables, pertinents et peu coûteux de la surveillance des ouvrages.**

Aucun développement technologique n'est envisagé, les géoradars et les sources sismiques actives comme les récepteurs utilisés seront issus du commerce. Les développements envisagés portent prioritairement sur le traitement de la donnée, pour fournir une offre de service économique mais de haut niveau.

La première méthode, la plus populaire adaptée de la géophysique au génie civil, est le **géoradar**. Surtout utilisé pour la détection des barres d'armature et d'autres éléments à des profondeurs supérieures à celles accessibles par les instruments à courants de Foucault conventionnels, l'une des utilisations les plus originales est d'utiliser l'onde électromagnétique émise par le géoradar pour créer localement un champ électrique qui va déplacer les ions dans l'eau des pores. Ce déplacement d'ions consomme une partie de l'énergie de l'onde. La conductivité est calculée en mesurant la quantité d'énergie dissipée. Grâce à cette conductivité, et à un travail d'analyse approprié¹, un ensemble de cartes de contamination chimiques, de corrosion et de désordres mécaniques peut être généré. Cette technique est aujourd'hui mature et se situe à un niveau de **TRL 8**², grâce à l'appui de notre partenaire et sous-traitant « Bridgology ».

La seconde technique vise à compléter cette technique par le développement d'un système alternatif de surveillance basé sur des **mesures passives ou actives d'ondes sismiques élastiques**. Les informations et les possibilités d'application de cette surveillance sismique passive (bruit ambiant) ou active (tirs), basée sur des techniques de corrélation croisée ou d'interférométrie d'onde de coda, permettent de vérifier si les vitesses sismiques ont changé au cours de la période de mesure, et donc les signes de vieillissement mécanique de la structure³. L'application de cette technique, mature au niveau géotechnique⁴, mais innovante

¹ A. Kalogeropoulos. Non-destructive determination of chloride and water content in concrete using ground penetrating radar. Doctoral dissertation, EPF Lausanne, 2012.

² A. Kalogeropoulos & al. Full-waveform GPR inversion to assess chloride gradients in concrete. NDT & E International, 57, 2013, 74-84.

³ V. Mierschke, E. Niederleithinger. Bridge Monitoring by Passive Seismic Data. SMT and NDT-CE, New Brunswick, NJ, 2018.

⁴ J.L. Mari & al. Géophysique de gisement et de génie civil. Editions Technip, 1998.

au niveau structure^{5,6}, est encore à un stade du développement. Les progrès récents dans la localisation des événements microsismiques sont très encourageants, avec des applications notables dans la surveillance des digues et jetées⁷ : ils permettent d'envisager une mise en œuvre opérationnelle sur la durée du projet, grâce à notre partenaire « SpotLight ». Cette technique se situe à un **TRL 5-6**.

AVANCEMENT TECHNIQUE -PREMIERS RESULTATS- AU 15 DECEMBRE 2022

Le projet est maintenant entré dans la phase d'investigation sur le terrain avec la réalisation d'une intervention la nuit du 10 au 11 octobre 2022 sur l'ouvrage d'art nommé « EL02 ». L'ouvrage est situé sur la commune d'Elancourt et permet le franchissement de la route de Trappes (D23) par la R12 :



Figure 1 : Plan de situation de la zone d'intervention. Source : IGN / Openstreet Maps et Rapport visite simplifié campagne 2017

L'intervention a consisté à déployer les 2 technologies de Géoradar et Sismique l'une après l'autre en commençant par le Georadar.

Voici la synthèse des résultats des 2 investigations :

1) Etude géophysique

a. Etude synthétique

i. Prise en compte du plan du pont choisi

Le plan du pont identifié montre une épaisseur de 71cm pour une longueur d'environ 40m. Des modélisations simples de temps de trajets (sans résolution d'équation d'ondes) ont été faites avant une mise en œuvre opérationnelle afin de définir les paramètres d'acquisition et

⁵ G.Hévin. Utilisation des ondes de surface pour l'auscultation des structures en génie civil : application à la caractérisation des fissures de surface. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1998.

⁶ J. Salvermoser, C. Hadziioannou, S. Stähler. Structural monitoring of a highway bridge using passive noise recordings from street traffic. J. of the Acoust. Soc. Am., 6, 2015.

⁷ A. Luczak (Joubert). Méthodes sismiques pour la surveillance des grandes structures du génie civil. Université de Nantes, 2018.

le nombre d'équipement nécessaires à une potentielle séparation des ondes. La structure est définie comme un béton homogène de vitesse 4000m/s.

ii. Recommandation paramètres d'acquisitions

Divers paramètres d'acquisition et géométrie de mise en œuvre ont été testés grâce aux modélisations ci-dessus et la Figure 2 présente les résultats pour les paramètres choisis pour l'acquisition :

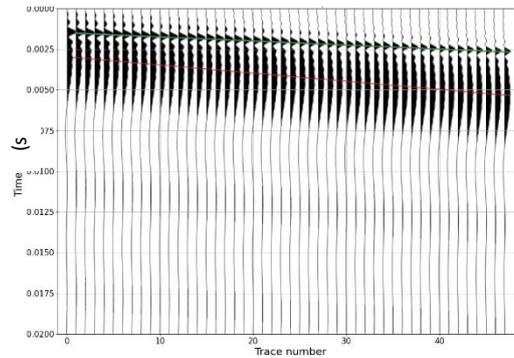


Figure 2 : Somme des différentes ondes de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; La ligne verte regroupe onde directe, réfléchié et diffractée, la ligne verte représente l'onde de Rayleigh

La Figure 2 ainsi que la littérature montrent qu'un échantillonnage temporel très bas (de l'ordre de 20 μ s) est nécessaire afin de séparer au mieux les ondes, et qu'un dispositif d'un récepteur tous les 10cm est également recommandé. Un plus fort espacement temporel ou spatial ne permet pas de discriminer des ondes, tandis que ce dispositif peut mettre en avant des diffractions, permet d'échantillonner l'onde de Rayleigh et peut-être la directe. Selon l'offset choisi, la séparation des ondes est plus ou moins marquée (plus marquée en fort offset). Une diffraction peut être visible ou non selon sa position. Sur la Figure 2, diffraction directe et réfléchiées sont confondues ; mais des configurations de tirs permettent de distinguer la directe, la Rayleigh et la diffractée. Un grand nombre de tirs est donc à privilégier. Il faut cependant garder à l'esprit que les paramètres choisis sont indicatifs ; si la bande passante n'est que de 1000 et non 2000, ou que la fréquence de la Rayleigh est de 300 et non de 150Hz, d'autres conclusions peuvent être tirées. Le ratio des amplitudes entre la Rayleigh et les autres ondes est peut-être également différent.

b. Mise en œuvre opérationnelle

i. Layout

Basé sur l'analyse synthétique, un ensemble de 48 géophones 10hz a été loué et mise en œuvre selon le design présenté en Figure 3. Les essais sont faits principalement au milieu de route afin d'être situé le plus loin possible des bords du pont, sauf contrainte.

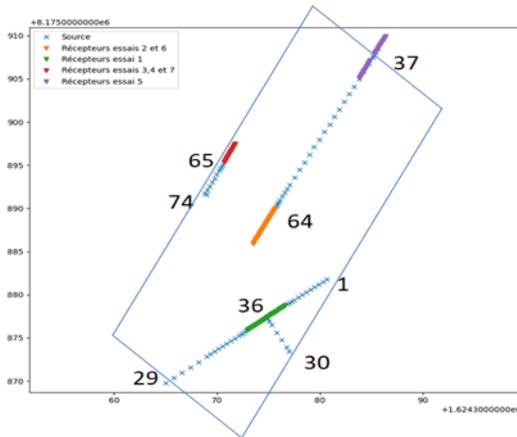


Figure 3 : Design d'acquisition utilisé lors des deux nuits ; les essais 1 à 3 ont été réalisés lors de la première nuit et les essais 4 à 7 lors de la deuxième nuit.

ii. Mode opérationnel

Focalisation sur une anomalie : Lors de la première nuit et sans étude approfondie en laboratoire, l'analyse géoradar n'a pas permis de distinguer d'anomalie structurale dans l'ouvrage. Le joint du pont a donc été choisi comme simulation d'une anomalie.

Répétabilité : Entre les nuits 1 et 2, plusieurs points sources et récepteurs sont répétés (essais 2 & 6 et essais 3, 4 & 7, cf ci-après), afin d'effectuer une analyse de répétabilité. Si celle-ci est trop faible, une anomalie apparaissant entre 2 acquisitions pourrait ne pas être détectée.

Couplage des capteurs : Pendant les deux nuits, deux acquisitions sur asphalté et une directement au contact du béton ont été réalisées afin de tester la qualité des données avec un couplage différent.

c. Analyse des résultats obtenus :

Données acquises :

L'enregistrement des données (échantillonnage) a été un succès et les paramètres ont été judicieusement choisis : des trains d'ondes sont distinguables. Des écoutes passives ont également été réalisées afin d'avoir une estimation du niveau de bruit ambiant.

Un total de 6288 traces a été acquis (grâce à 131 tirs) et en partie analysé. La

Figure 4 présente un « tir » de 6 mètres d'offset pour le premier récepteur

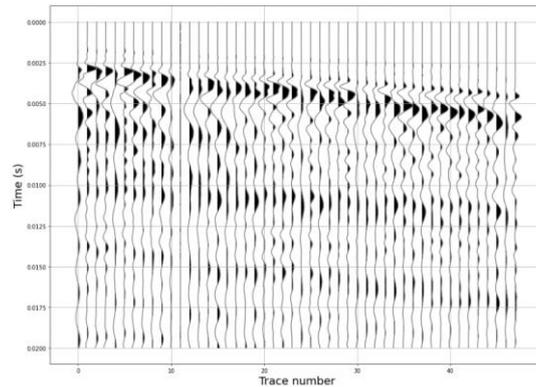


Figure 4 : Exemple de tir obtenu sur l'essai 2 ; l'offset minimum est de 6m

Détection de l'anomalie :

Plusieurs mesures centrées sur les joints d'étanchéité simulant l'anomalie ont été réalisées. Les mesures représentent une anomalie située sur la ligne réceptrice, ou entre deux points de tir. La Figure 5 présente les résultats visuels de quelques enregistrements.

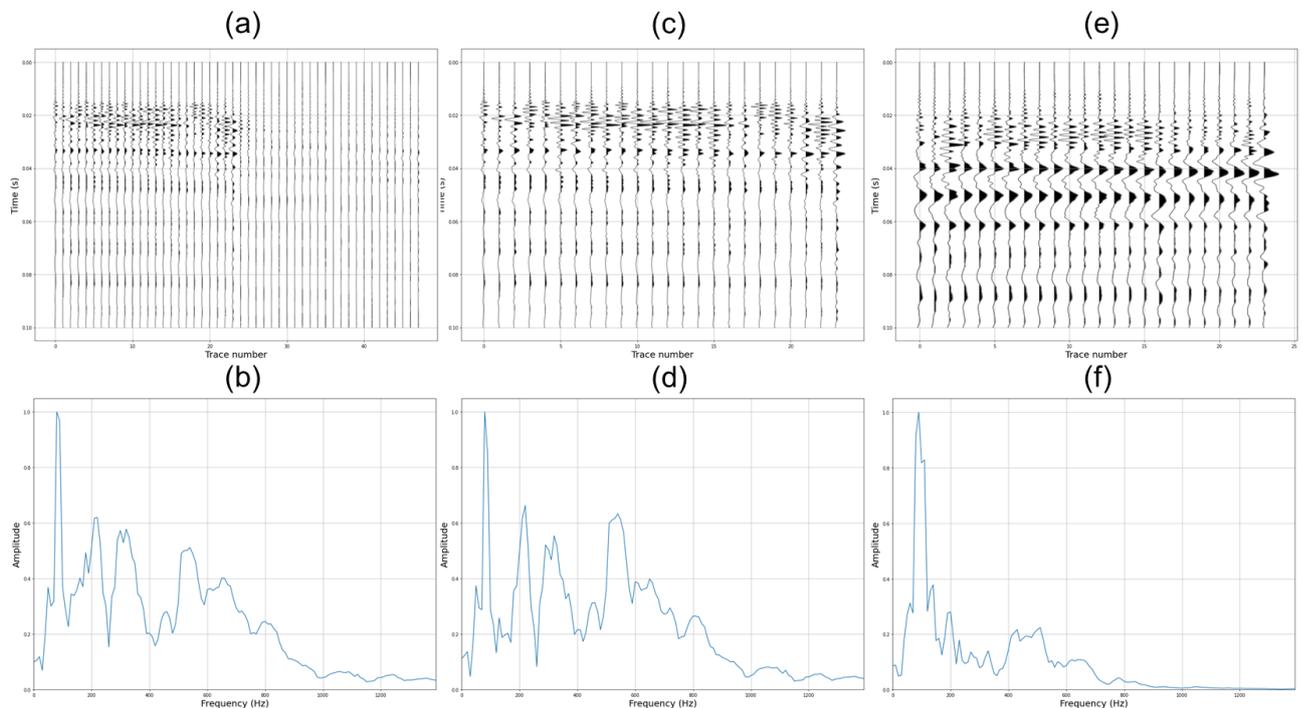


Figure 5 : Enregistrements de part et d'autre d'une anomalie, représentée par un joint du pont. Exemple de trois points de tir (en haut) et de leurs spectres en fréquences normalisés (en bas). (a) Joint au milieu de la ligne réceptrice (b) Tir avant le joint (c) Tir après le joint

Conclusions concernant l'anomalie :

Une forte atténuation en amplitude et en fréquences d'un récepteur à l'autre est notable si l'anomalie se trouve sur une antenne en réception (Figure 5.a) ; l'atténuation est plutôt fréquentielle en cas de position entre deux points de tirs (Figure 5.c, Figure 5.d, Figure 5.e,

Figure 5.f). Il est donc théoriquement possible de détecter une anomalie avec uniquement des points de tir, avec une atténuation du contenu fréquentiel.

Répétabilité :

Plusieurs mesures de répétabilité ont été effectuées. Les résultats suggèrent plusieurs éléments :

- Si la signature d'une anomalie est aussi forte que celle étudiée en Figure 5, la répétabilité est suffisante
- Pour d'autres types d'anomalies dont les signatures nous sont inconnues, cela reste à déterminer

Le coefficient de corrélation moyen obtenu est de 0.7 et la NRMS moyenne de 0.75 (fenêtre de 20ms)

2) Etude Géoradar

21 profils longitudinaux ont été réalisés avec un espacement de 80 cm. Quelques profils transversaux de contrôle ont également été réalisés.

L'antenne GPR Proceq GP8100 a été utilisée. Cette machine a la particularité de posséder 6 antennes. Seuls les scans des antennes A et F ont été traités dans cette étude afin de garantir le meilleur compromis entre la résolution de l'analyse et le temps nécessaire à l'interprétation des données.

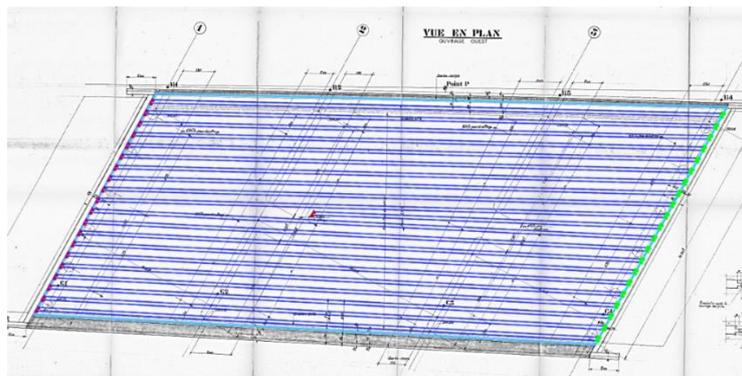


Figure 6 : Plan des profils longitudinaux

La Figure 6 montre l'implantation des profils (en bleu) sur la vue en plan de l'ouvrage.

Une fois les données acquises, elles sont importées dans notre logiciel pour traitements et interprétations.

a. Analyse des données du géoradar

Le géoradar émet des ondes électromagnétiques qui se propagent, puis se réfléchissent, au sein des différents matériaux composant la structure analysée. Ces ondes sont ensuite enregistrées par l'appareil sous la forme d'un temps de propagation dont l'unité est la nanoseconde [ns]. Chaque enregistrement est appelé une trace. L'ensemble des traces enregistrées le long d'un profil de mesures forme un radargramme. La conversion du temps

de propagation en profondeur se fait finalement par le biais du calcul de la vitesse de propagation propre à chaque matériau.

La Figure 7 montre les traitements réalisés sur un profil longitudinal brut :

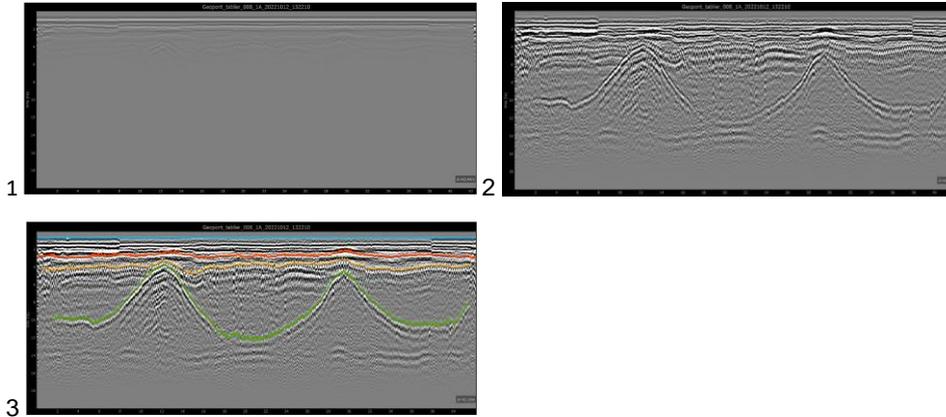


Figure 7 : étapes de traitement des radargrammes brut

Le traitement des données brutes (Figure 7.1) commence par l'ajout de gain et la suppression de l'arrière-plan (Figure 7.2). L'image résultante est ensuite interprétée pour identifier les différentes interfaces et objets ainsi que les désordres éventuels

b. Résultats et interprétation des mesures

Les résultats des mesures faites par Bouygues Construction ont nécessité un travail d'analyse a posteriori réalisé par Bridgologie. Ce travail ne peut pas être fait instantanément au moment de l'intervention. Par conséquent, aucune des conclusions présentées ci-après n'était connue de spotlight au moment des relevés sismiques.

i. Homogénéité de l'enrobé

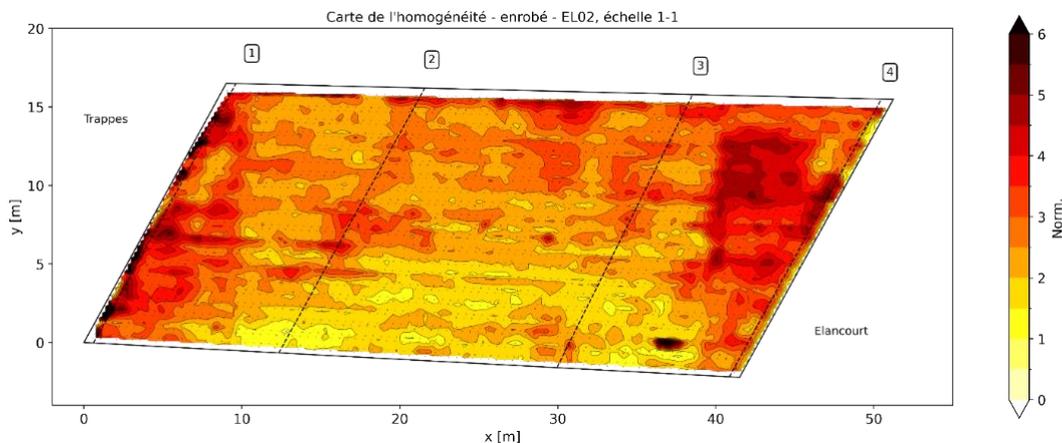


Figure 8 : Mesure de l'homogénéité dans la couche d'enrobé

La Figure 8 présente de manière qualitative l'homogénéité de la couche d'enrobé. De manière générale, elle permet de relever des zones où l'interface entre la couche de

roulement et la couche de base est visible, et potentiellement décollée. Elle permet également une détection des cloques dans l'enrobé.

Dans le cas présent, l'interface entre la couche de roulement et la couche de base est bien plus visible dans les zones en rouge-rouge foncé (au niveau de l'enrobé plus récent). Un désordre (possiblement un décollement) est relevé à $(x, y) = (37, 0)$. Dans le reste de l'ouvrage, nous n'observons pas de décollements.

ii. Epaisseur de l'enrobé

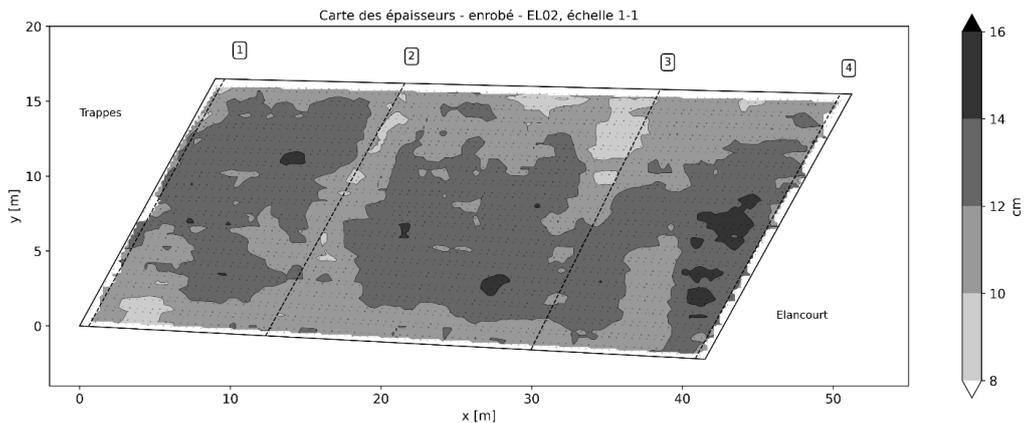


Figure 9 : Carte de l'épaisseur d'enrobé

Pour calculer cette épaisseur, une vitesse usuelle de 0.12 m/ns a été utilisé pour l'onde radar. L'épaisseur de l'enrobé bitumineux est peu variable (écart type de 1 cm) et se situe principalement entre 10 et 14 cm. La médiane est de 12 cm.

iii. Epaisseur du béton d'enrobage

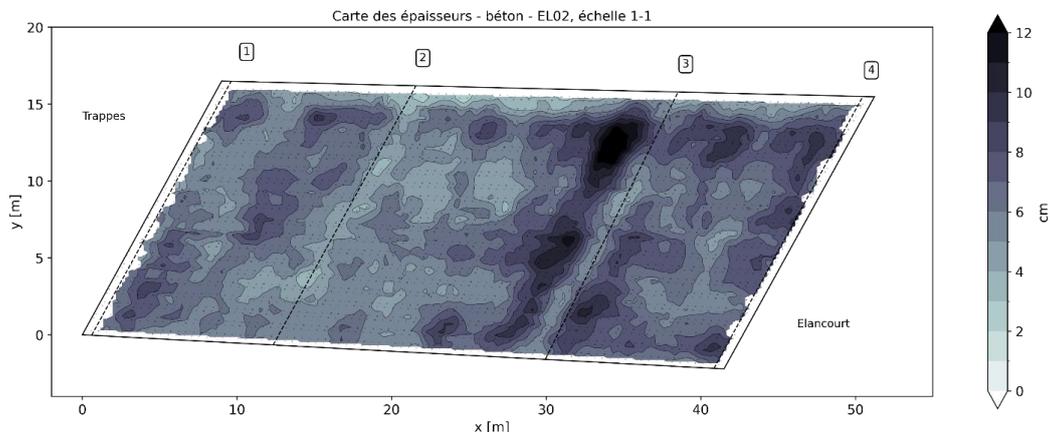


Figure 10 : Carte de l'épaisseur du béton d'enrobage

Cette carte présente l'épaisseur du béton d'enrobage (entre l'interface enrobé-béton et l'armature transversale supérieure). Pour calculer cette épaisseur, une vitesse usuelle de 0.10 m/ns a été utilisé pour l'onde radar.

L'épaisseur du béton d'enrobage est relativement variable (écart type de 1.4 cm) et élevée avec une médiane à 6.3 cm.

iv. Écartement des armatures

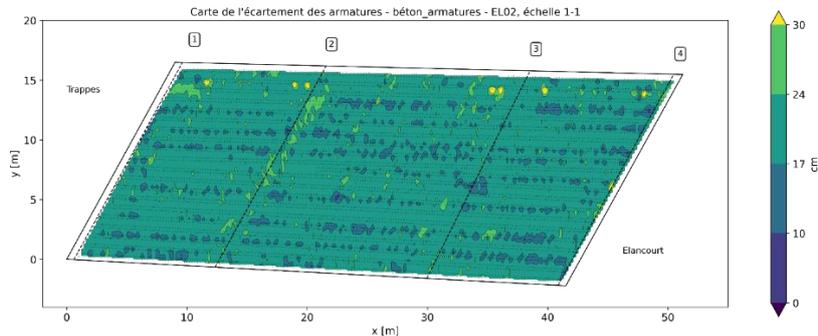


Figure 11 : Carte montrant l'écartement des armatures

La Figure 11 présente l'écartement des armatures supérieures transversales du tablier. Il n'apparaît pas de variations particulières. L'écartement est de 22 cm sur l'ensemble du tablier, avec quelques très faibles variations. Les plans d'armatures indiquent un écartement principal de 20 cm. Les écartements plus faibles sont probablement dû à des recouvrements.

v. conductance du béton d'enrobage (contamination)

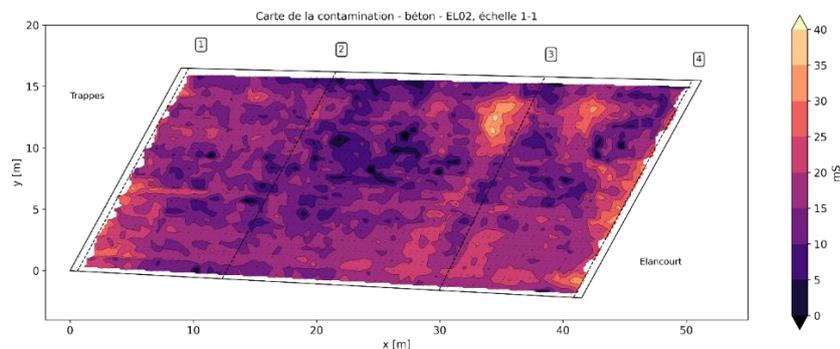


Figure 12 : carte de la conductance dans le béton d'enrobage

La Figure 12 présente la mesure de la conductance dans la couche de béton d'enrobage. Elle exprime la contamination totale (= ions libres en solution dans les pores du béton) sur le trajet de l'onde. Les valeurs sont relativement faibles pour les épaisseurs concernées, ce qui n'indique pas de contamination particulière sur l'ouvrage. La zone « chaude » à proximité de l'axe 3 est le résultat de la forte surépaisseur de béton d'enrobage. Afin de s'affranchir de l'effet de profondeur et de cerner uniquement les zones effectivement contaminée (supérieures à la moyenne du tablier), la carte ci-dessous est produite.

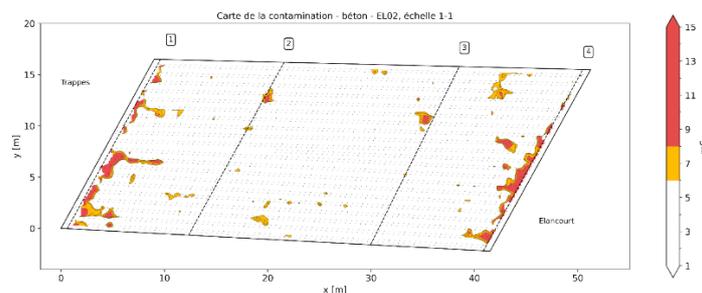


Figure 13 : carte des zones de contamination chimique

La contamination chimique semble se limiter à deux bandes étroites le long des culées.

vi. Conductivité du béton d'enrobage (risque de corrosion)

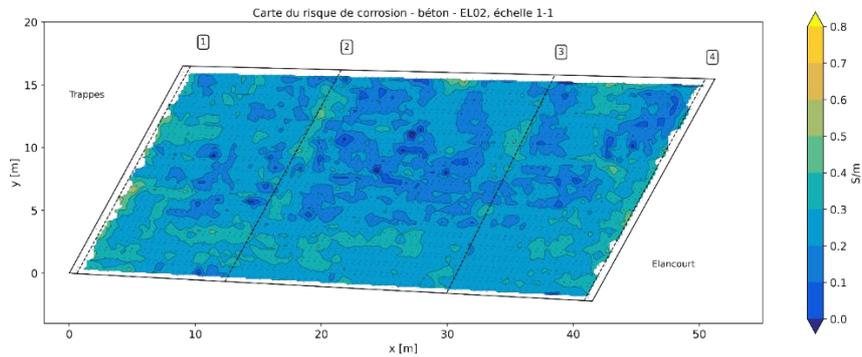


Figure 14 : Carte de la conductivité dans le béton d'enrobage

La Figure 14 présente la mesure de la conductivité dans la couche de béton d'enrobage. Elle exprime le risque de corrosion car elle tient compte de la profondeur des armatures et de la contamination chimique. Les valeurs relevées sur cet ouvrage sont faibles car les épaisseurs de béton d'enrobage sont très élevées. On ne distingue pas de zones «chaudes» avec des valeurs plus élevées.

vii. Homogénéité du béton d'enrobage

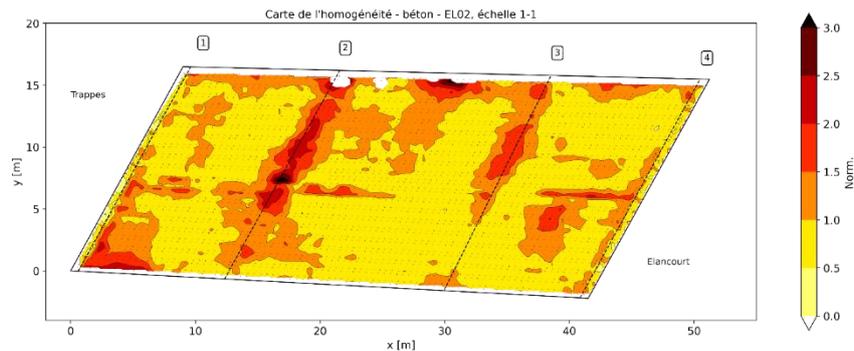


Figure 15 : Carte de l'homogénéité du béton d'enrobage

Un béton très homogène et sans désordre apparaît en jaune sur cette carte (valeurs proches de 0). De potentiels désordres, délamination et fissures apparaissent en rouge foncé. De larges zones présentent des désordres continus s'apparentant à des fissures horizontales.

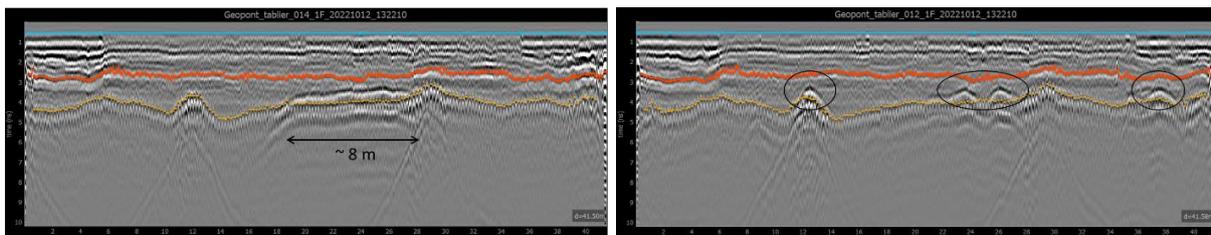


Figure 16 : Radargrammes illustrant les principaux désordres identifiés dans la carte d'homogénéité du béton d'enrobage

Certains désordres sont situés au niveau de l'axe de l'appui 2 et 3, d'autres apparaissent localement. Il n'est pas possible d'affirmer avec certitude la nature de ces désordres. Il est cependant possible que ce soit des fissures horizontales.

Il nous apparaît peu probable qu'il s'agisse de délaminations car les désordres ne se situent pas au niveau des armatures. Les hyperboles des armatures sont toujours clairement identifiables sous ces zones.

viii. Profondeur des gaines de précontrainte

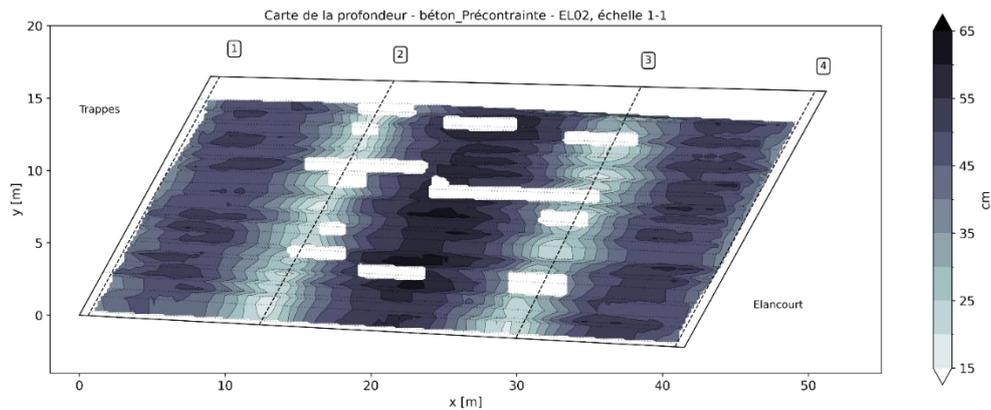
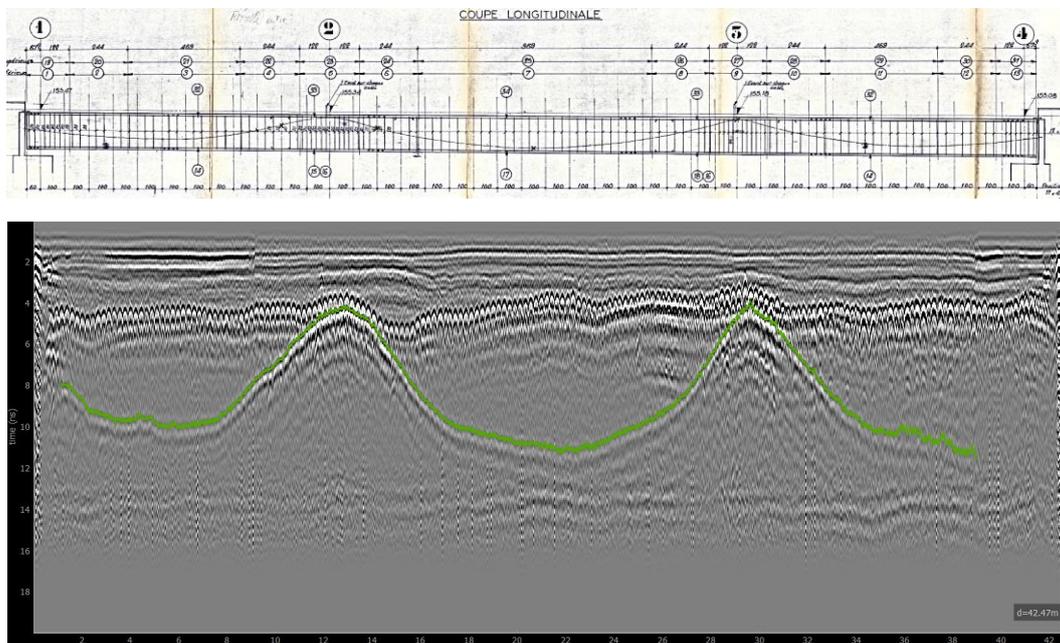


Figure 17 : Carte de profondeur des gaines de précontraintes

Il a été possible de détecter les gaines de précontrainte sur la majorité des profils géoradar. La présente leur profondeur (depuis la surface). Comme l'espacement entre les profils est en moyenne de 0.35 [m] et que l'écartement des câbles est de 0.86 [m], nous sommes à même de détecter la plupart des gaines des câbles. La position exacte de la précontrainte n'est pas indiquée mais la variation de la profondeur indiquée sur la carte est bien représentative.



Cet exemple illustre la réflexion générée par les câbles de précontrainte. Ils sont visibles sur la plus grande partie des scans. Seuls les points les plus bas sont trop atténués pour être observés.

c. Conclusions de l'étude géoradar

L'utilisation de la technologie du géoradar sur le tablier du pont EL02 à Elancourt a permis de relever les points suivants :

- L'épaisseur de la couche de l'enrobé bitumineux a une valeur médiane de 12 cm et est peu variable. Il n'a pas été relevé de désordres particuliers dans l'enrobé. Deux types de couches l'une plus récente et l'autre plus ancienne ont été observées.
- L'épaisseur du béton d'enrobage est relativement épaisse avec une médiane à 6.3 cm. Les profondeurs des armatures transversales supérieures sont très variables avec localement des valeurs allant jusqu'à 11 cm. Il n'y a pas d'enrobage inférieur à 3 cm.
- Plusieurs désordres ont été relevés dans la couche du béton d'enrobage. Il s'agit probablement de fissures horizontales, localisée au niveau des axes 2 et 3 des appuis intermédiaires.
- Le risque de corrosion des armatures transversales supérieures est faible à très faible. Seules les culées montrent des signes d'infiltrations.
- L'ouvrage est dans un état satisfaisant dans son ensemble, à l'exception des possibles fissures horizontales

AVANCEMENT FINANCIER AU 15 DECEMBRE 2022

	Bouygues TP	CentraleSupelec	SpotLight	(vide)	Total général
Somme de couts salariaux directs sans pers. permanents	34 935		8 466	-	43 401
Frais connexes (forfaitaires) :	5 240		1 693	-	6 934
Coûts de sous-traitance :	67 000				67 000
Contributions aux amortissements :	15 000				15 000
Frais de mission :			397		397
Coûts de refacturation interne :					-
Somme de Autres coûts : achats, consommable			2 756		2 756
Somme de Total coûts éligibles et retenus	122 175		13 312	-	135 488
Somme de Aide totale	41 307		7 987	-	49 294
taux moyen de subvention	34%		60%		

PERSPECTIVES D'AVANCEMENT (TECHNIQUE ET FINANCIER) A MI 2023

1) Echéancier technique

a. Nouvelles études terrain

Suite à l'étude du premier Pont à Elancourt, il a été décidé de renouveler le travail de mesure sur un pont en moins bon état. En effet, les résultats du géoradar n'ont pas montré de désordres importants dans la structure du pont et cela bride le développement de la

technologie sismique. Pour l'instant il n'y a de cas d'étude de désordre avéré nous permettant de développer un protocole d'auscultation sismique complémentaire au Géoradar.

Nous avons donc prévu de réaliser de nouvelles mesures sur un ouvrage en moins bon état. Ainsi, les mesures au Géoradar seront réalisées en février sur le nouvel ouvrage, puis lorsque l'étude géoradar aura rendu ces conclusions, en mars, l'étude Sismique sera réalisée sur les zones précises de désordre.

b. Industrialisation du traitement des données Géoradar

Les données issues du géoradar nécessitent encore un temps d'analyse manuelle par un personnel qualifié avant de pouvoir livrer les résultats les plus utiles. Un travail permettant d'automatiser ces traitements sera engagé.

c. Poursuite de l'étude sismique

Une analyse plus poussée des données (type séparation d'onde) est possible avec la qualité des données obtenues et sera réalisée d'ici la prochaine campagne d'échantillonnage. Une analyse plus poussée de l'influence de l'asphalte sur la qualité du signal sera effectuée ; celle-ci a été débutée

Un modèle opérationnel avec une seule antenne de réceptions et plusieurs points de tir semble réaliste opérationnellement et géophysiquement. Des simulations numériques du pont pourraient permettre d'affiner les interprétations des séparations d'ondes et de planifier le placement optimal de l'antenne de réception.

d. Démarrage du groupe de travail N°4

Une réflexion au déroulé opérationnel de la technologie sera conduite. Cette démarche correspond au groupe de travail N°4 de notre projet.

L'enjeu de ce GT est de définir quel protocole sera effectivement proposé à nos MOA avec pour critères :

- Pertinence du phasage de déploiement des technologies : quelle technologie ? Quand déployer cette technologie ? Pour observer et quantifier quel phénomène ?
- Complétude du dispositif : le couple géoradar / géophysique dans notre dispositif est-il suffisant pour répondre aux questions sur l'état structurel du matériau de l'ouvrage ?
- Coût du dispositif : cohérence du coût du dispositif avec le risque traité et adaptation du dispositif en fonction de ce risque.

L'aboutissement de ce GT sera la proposition d'un protocole d'auscultation avec plusieurs gradations de coûts et de types de dispositifs en fonction du but recherché.

2) Echancier financier

	SEM02	SEM03	SEM04	SEM05
	2022		2023	
Bougues TP				
Subventions	1 006 €	41 307 €	64 171 €	445 €
Aide totale	1 006 €	42 313 €	106 484 €	106 929 €
CentraleSupelec				
Subventions	- €	- €	30 000 €	
Aide totale	- €	- €	30 000 €	
SpotLight				
Subventions	587 €	13 312 €	46 594 €	-
Aide totale	587 €	13 899 €	60 493 €	-

QUELQUES PHOTOGRAPHIES



Photo 1 : Dispositif mis en place ; exemple du premier essai de la première nuit



Photo 2 : Essai 7 avec quelques récepteurs en contact direct avec le béton, sans asphalte



Photo 3 : Marquage des profils longitudinaux pour le Géoradar