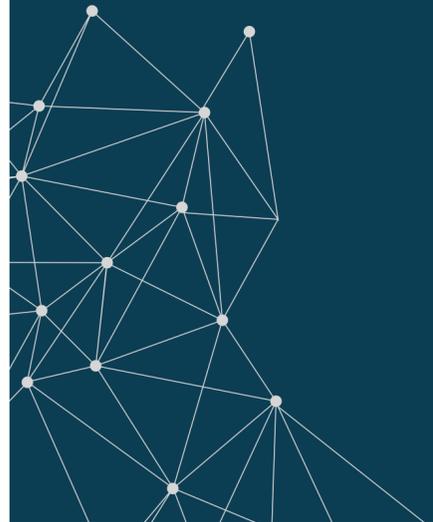




BRIDGOLOGY

Géoradar 2020



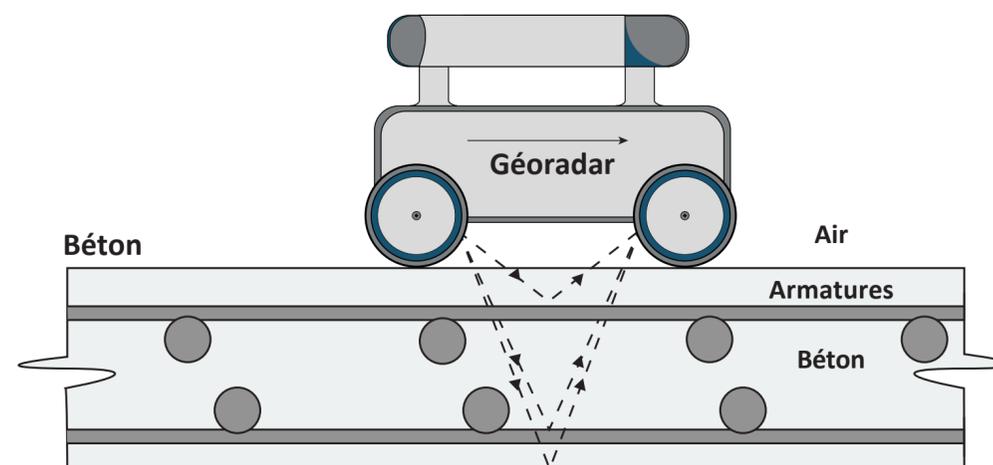


Bridgology SA est un Bureau d'experts conseils spécialisé dans l'analyse de données non-destructives, fondé en 2013.

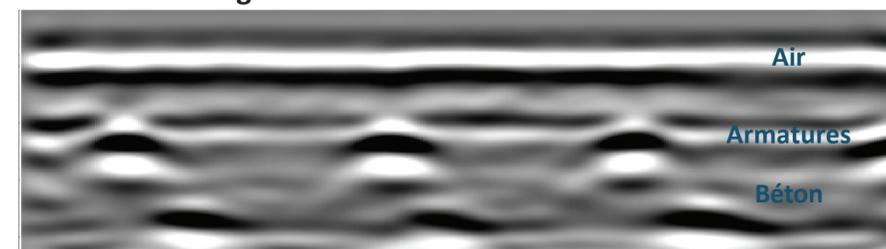
Nous opérons dans la maintenance des infrastructures, en proposant des outils de visualisation clairs et synthétiques.

Nous intervenons sur tous types de structures nouvelles et existantes en béton armé et en maçonnerie.

Cette brochure vous présente des analyses types avec la méthode géoradar.



Données : Radargramme

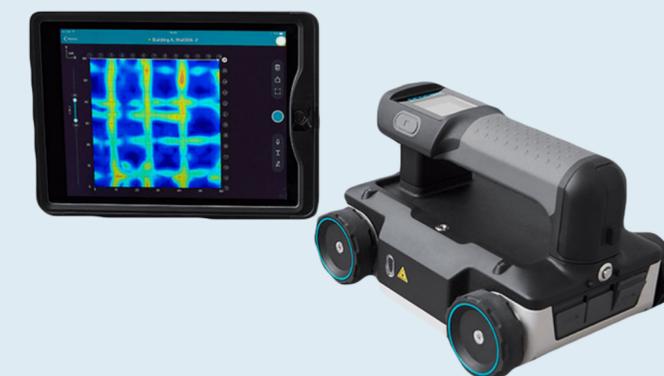


Le Géoradar est une méthode de contrôle non-destructif basée sur la propagation des ondes électromagnétiques. Le Géoradar émet des ondes qui se propagent dans la structure. Ces ondes sont réfléchies en direction du radar lorsqu'elles rencontrent un obstacle.

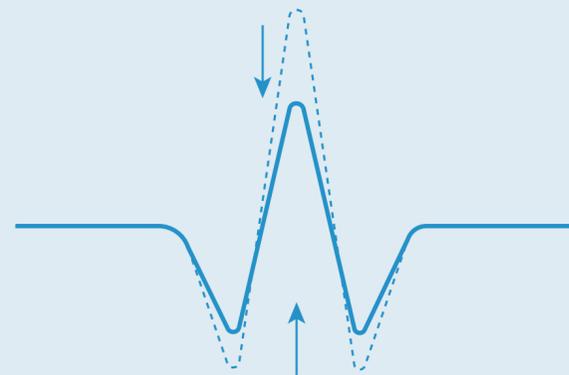
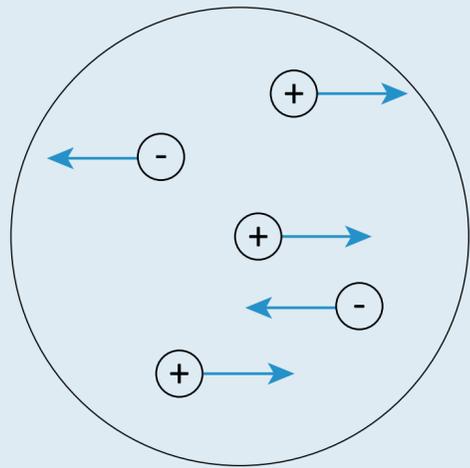
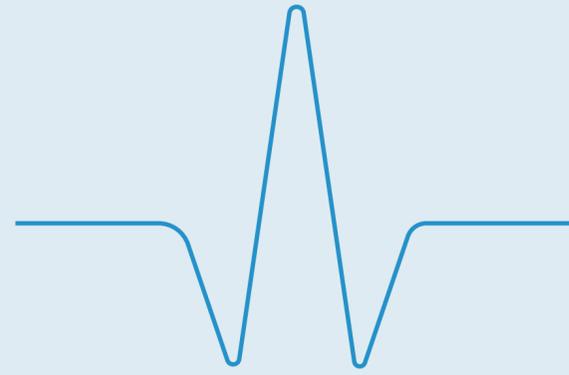
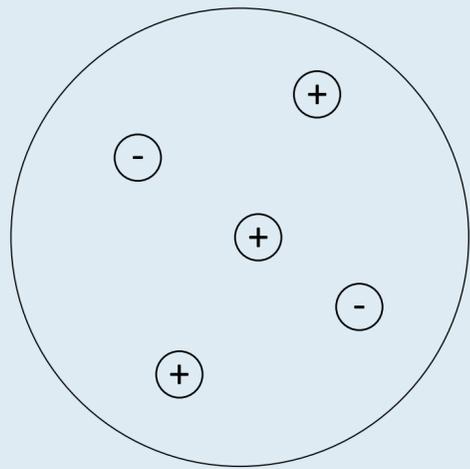
Le Géoradar enregistre alors les temps d'arrivées des ondes et les somme au fur et à mesure de sa progression le long de l'objet étudié. Cette somme de mesures forme un radargramme qui constitue une coupe de la structure et des objets qui la compose.

Pour calculer les profondeurs des éléments rencontrés, les temps d'arrivées enregistrés sont converti en utilisant la vitesse de propagation des ondes. Ces vitesses de propagation doivent être calibrées ponctuellement par des sondages.

Le Géoradar



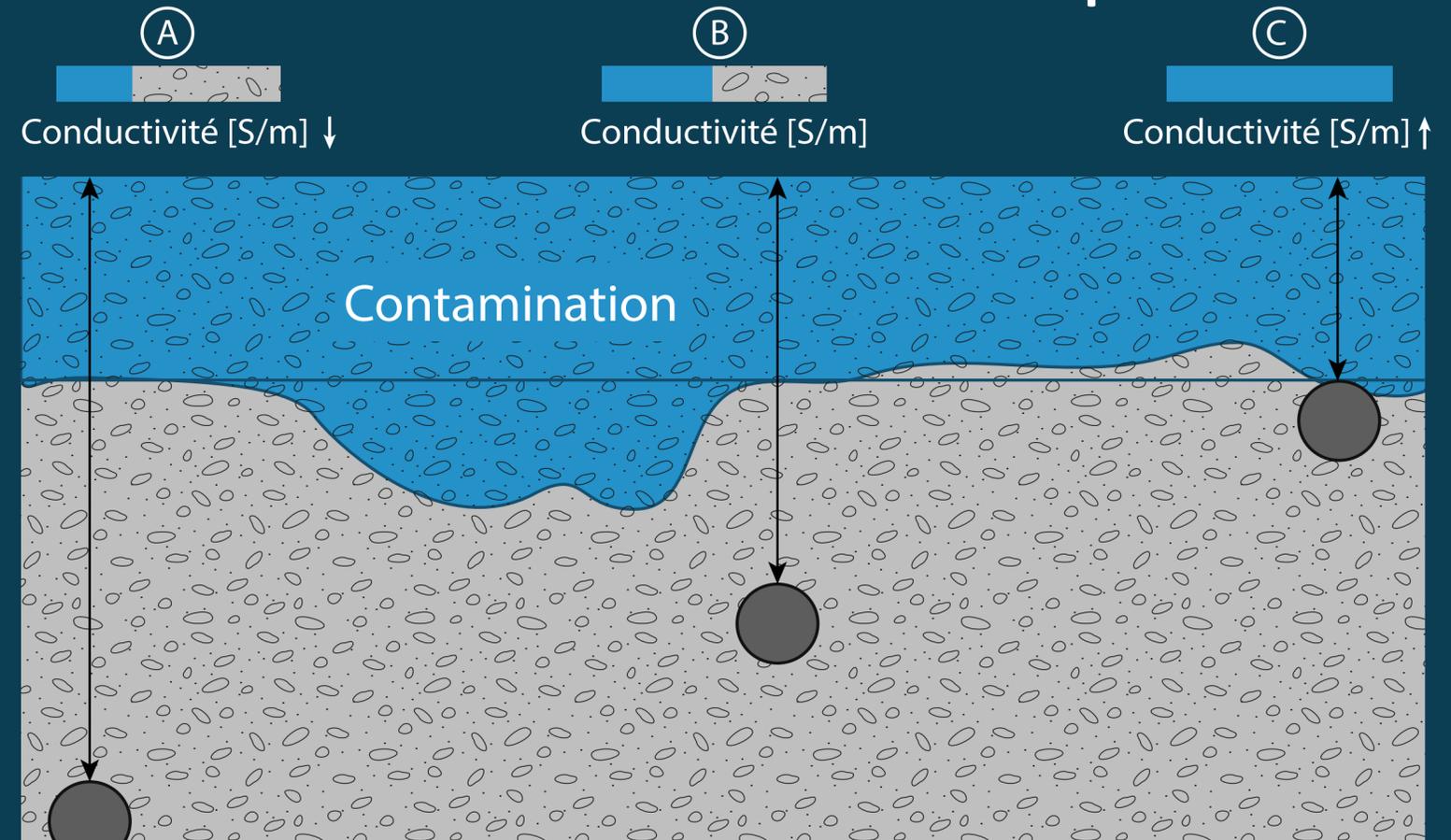
La conductivité



La conductivité électrique représente la capacité d'un matériau ou d'une solution à conduire un courant électrique. Elle s'exprime en Siemens par mètre [S/m] et varie avec la quantité d'ions présents en solution dans les pores du béton. L'onde électromagnétique émise par le géoradar crée localement un champ électrique qui déplace 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.

Le calcul de la conductivité à partir de données Géoradar est le fruit de la thèse EPFL n°5354 (2013) du Dr. Alexis Kalogeropoulos.

Le risque de corrosion



La conductivité du béton d'enrobage traduit le risque de corrosion des barres d'armatures:

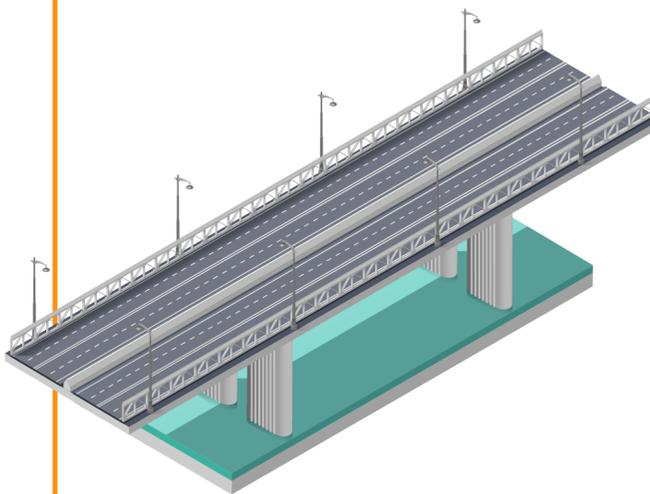
$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

- Risque** = Conductivité [S/m] mesurée
- Aléa** = Conductance [S], directement proportionnelle à la contamination (% Cl-)
- Vulnérabilité** = Exposition des barres d'armatures à la contamination. La vulnérabilité est inversement proportionnelle à l'épaisseur d'enrobage [m].

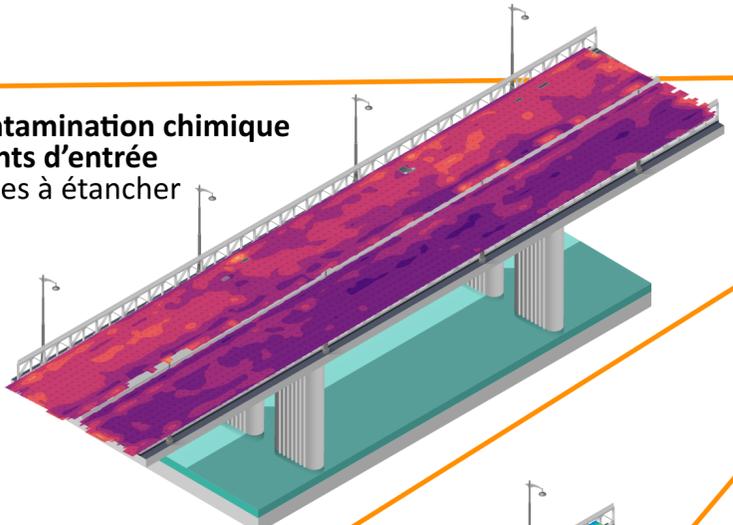
Ainsi, à contamination égale, la conductivité diminue lorsque l'enrobage est important (A) et elle augmente lorsque l'enrobage diminue (C). Inversement, pour une épaisseur d'enrobage égale, la conductivité augmente en cas de forte contamination et elle diminue pour une contamination plus faible.

NOTRE MÉTHODE

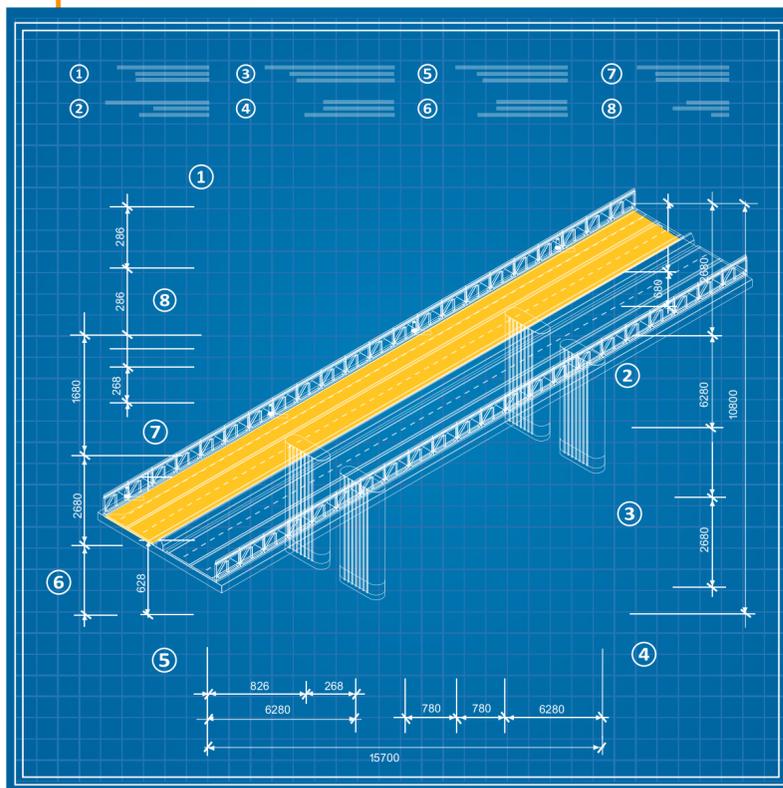
A Mesures non-destructives sur l'ouvrage
Durée 1 nuit
Interruption partielle du trafic



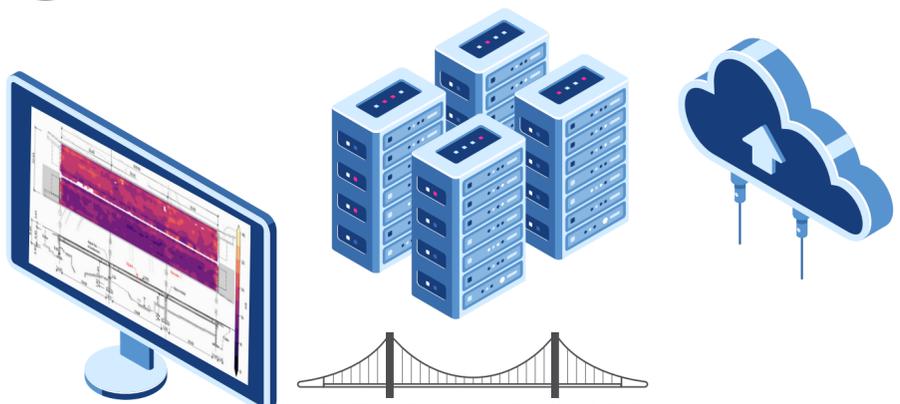
C1 Contamination chimique
Points d'entrée
Zones à étancher



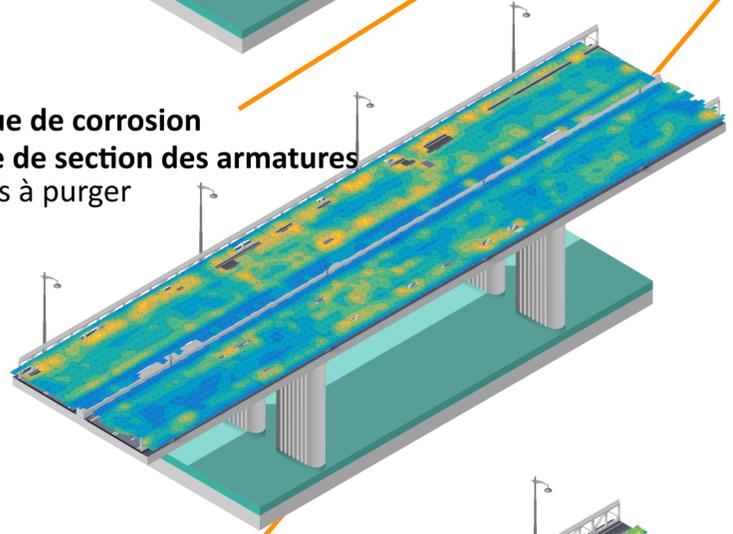
D Concertation avec le bureau d'ingénieurs
Plan d'action optimisé
Priorisation des interventions



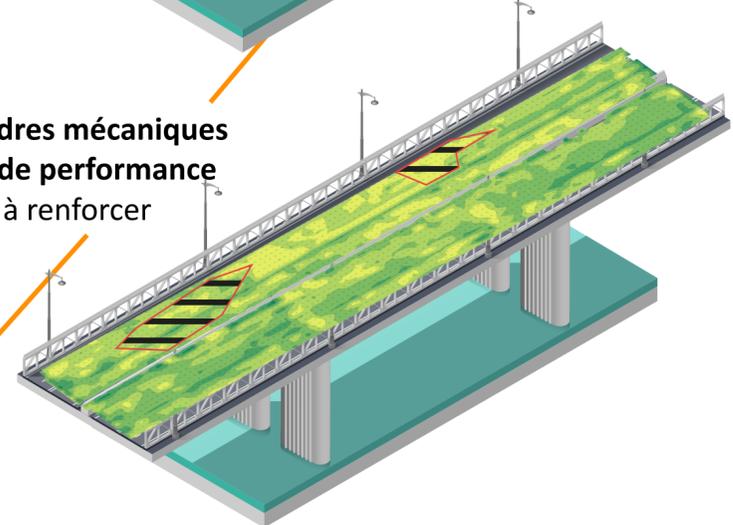
B Analyse et traitement de données
Durée environ 1 semaine
Production des rapports d'analyses



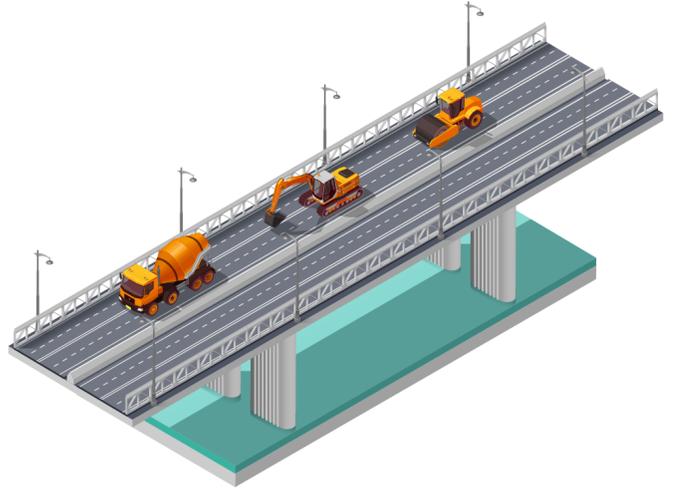
C2 Risque de corrosion
Perte de section des armatures
Zones à purger



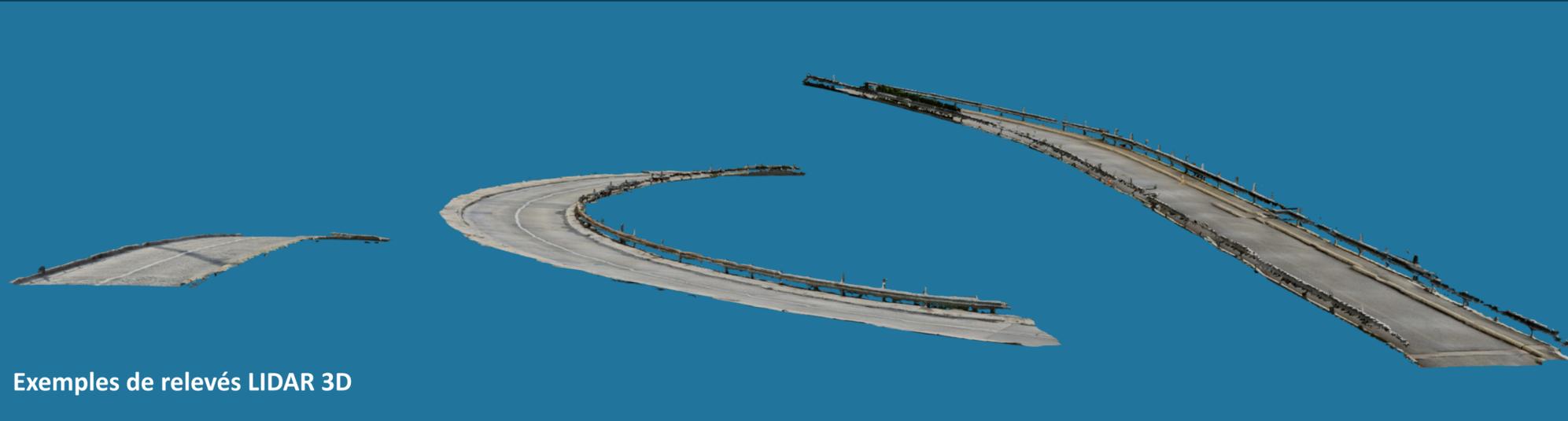
C3 Désordres mécaniques
Perte de performance
Zones à renforcer



E Exécution du plan de maintenance
Minimisation des coûts et des durées
Limitation des imprévus



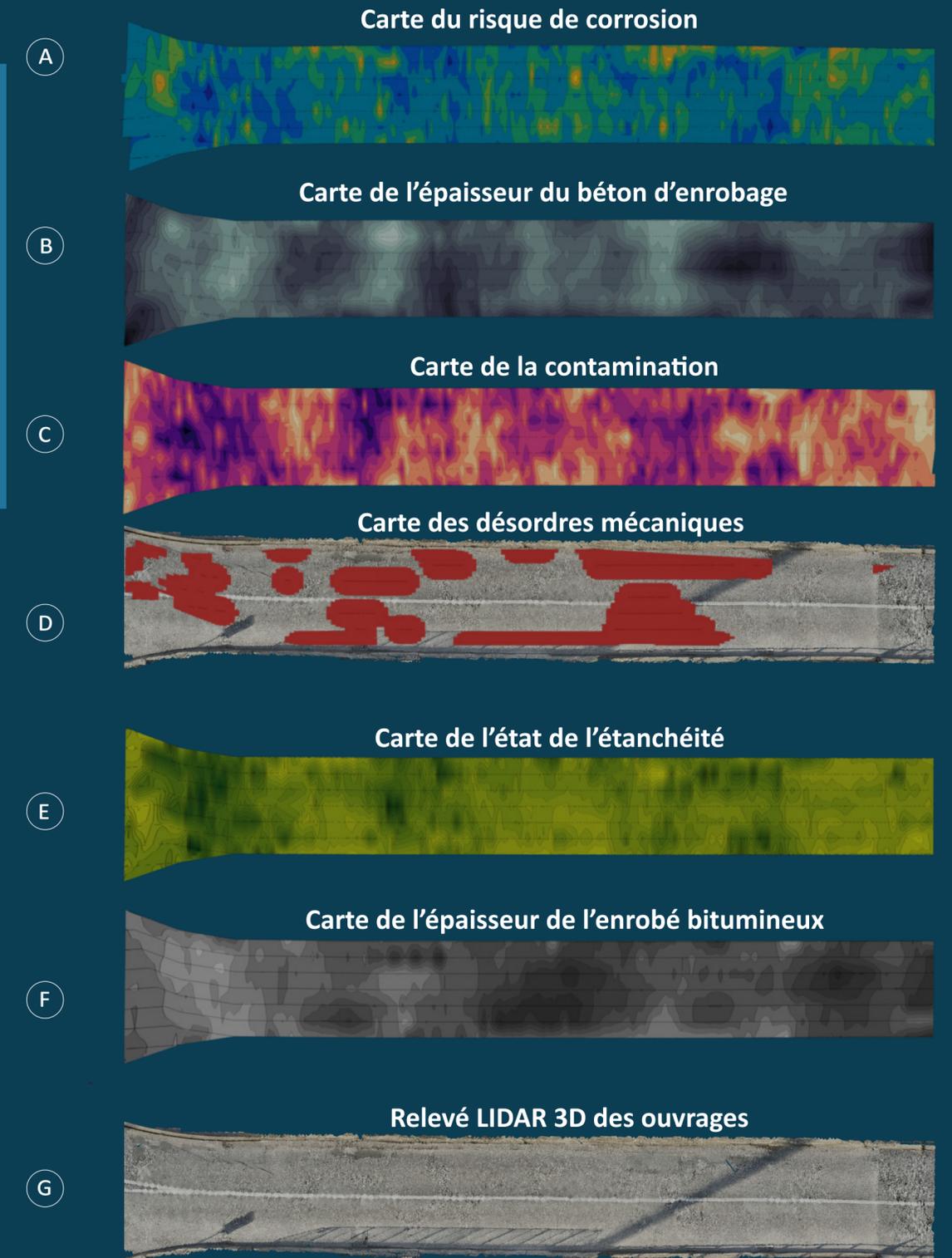
Cartographie d'ouvrages



Exemples de relevés LIDAR 3D

Catalogue des cartes disponibles en fonction des besoins du client et de l'état de la structure :

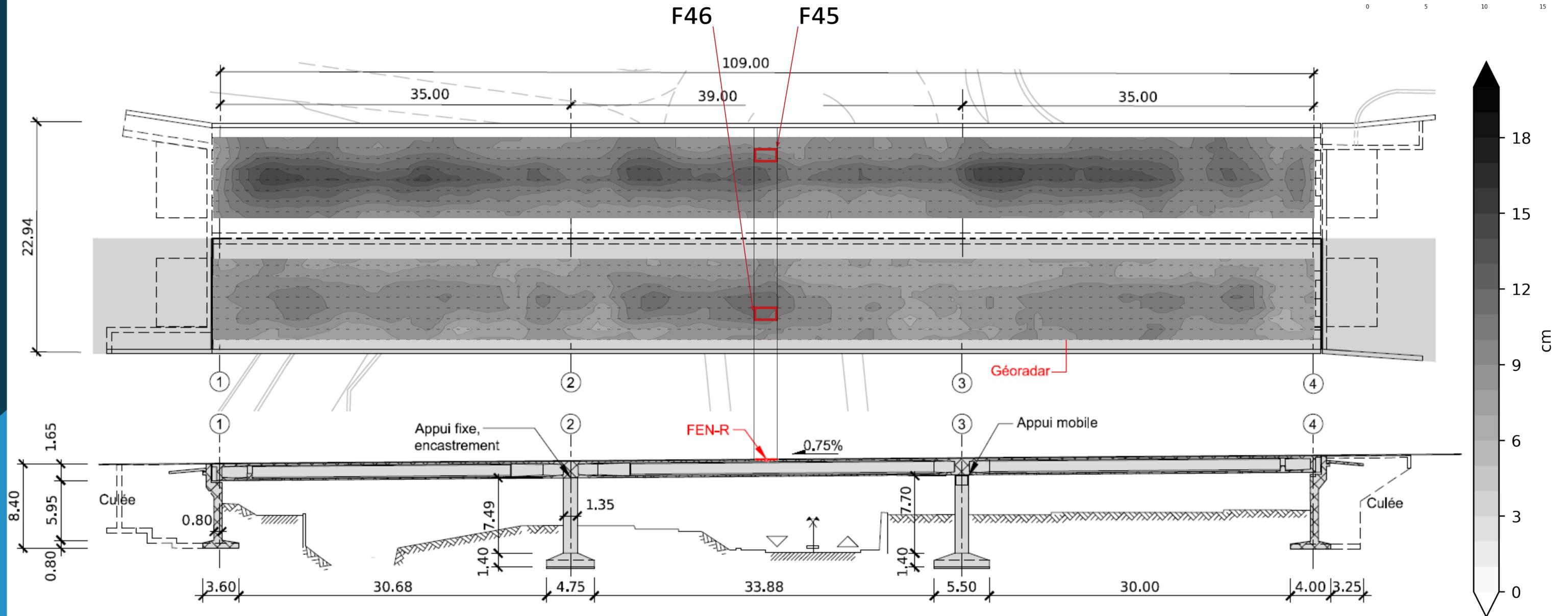
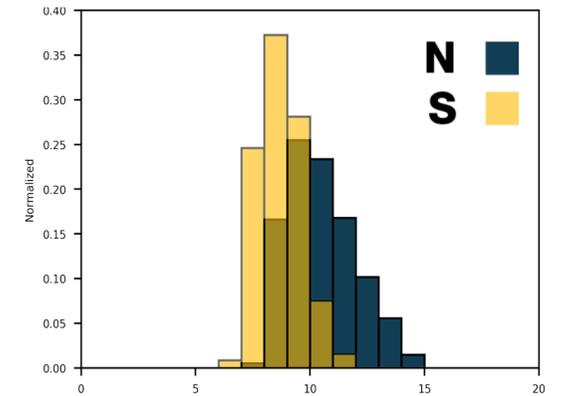
- (A) La carte du risque de corrosion des armatures correspondant à la conductivité en [S/m].
- (B) La carte de l'épaisseur du béton d'enrobage indique la vulnérabilité des armatures.
- (C) La carte de la contamination correspond à la conductance en [S]. Elle permet d'identifier les zones à forte contamination.
- (D) La carte des désordres mécaniques montre l'ensemble des désordres observés au sein du béton.
- (E) La carte de l'état de l'étanchéité décrit la qualité du contact entre l'étanchéité et le béton.
- (F) La carte de l'épaisseur de l'enrobé bitumineux, renseigne sur les sur- ou sous-épaisseurs.
- (G) Un relevé Lidar 3D de la surface de l'ouvrage répertorient la géométrie, les réfections antérieures et les désordres de surface.



Cartographie d'ouvrage – Pont autoroutier

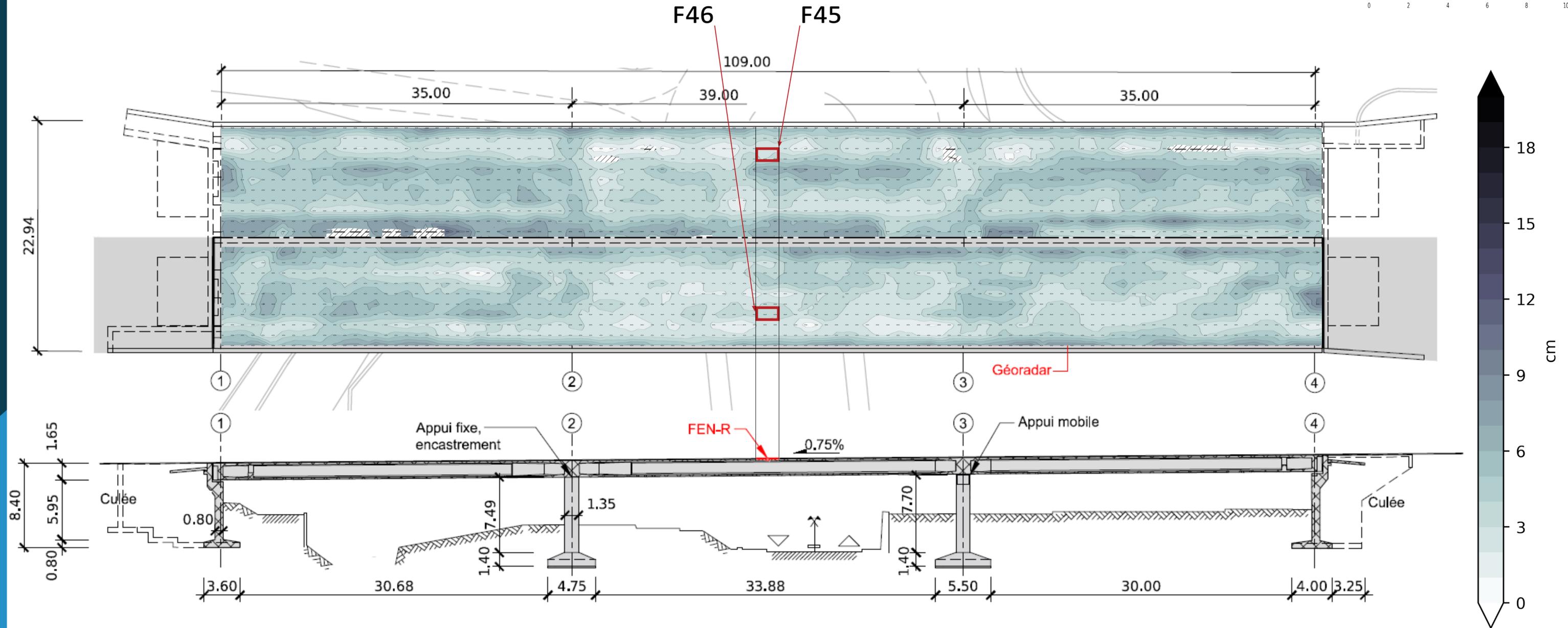
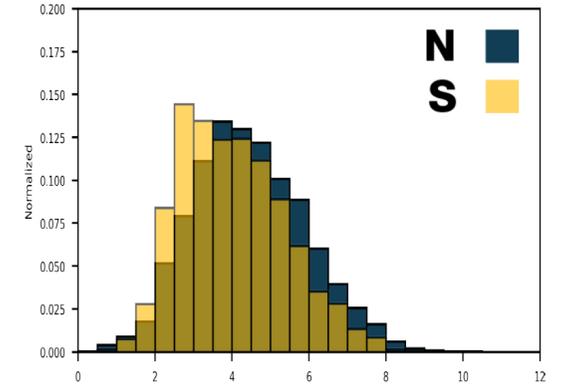
ÉPAISSEUR DE L'ENROBÉ BITUMINEUX

Les mesures suivent une distribution normale. Le pont Nord présente une épaisseur moyenne légèrement plus élevée que le pont Sud: 10.3 cm contre 8.6 cm. Les deux tabliers comprennent de larges bordures en béton armé vraisemblablement sans protection de surface.



ENROBAGE DES ARMATURES

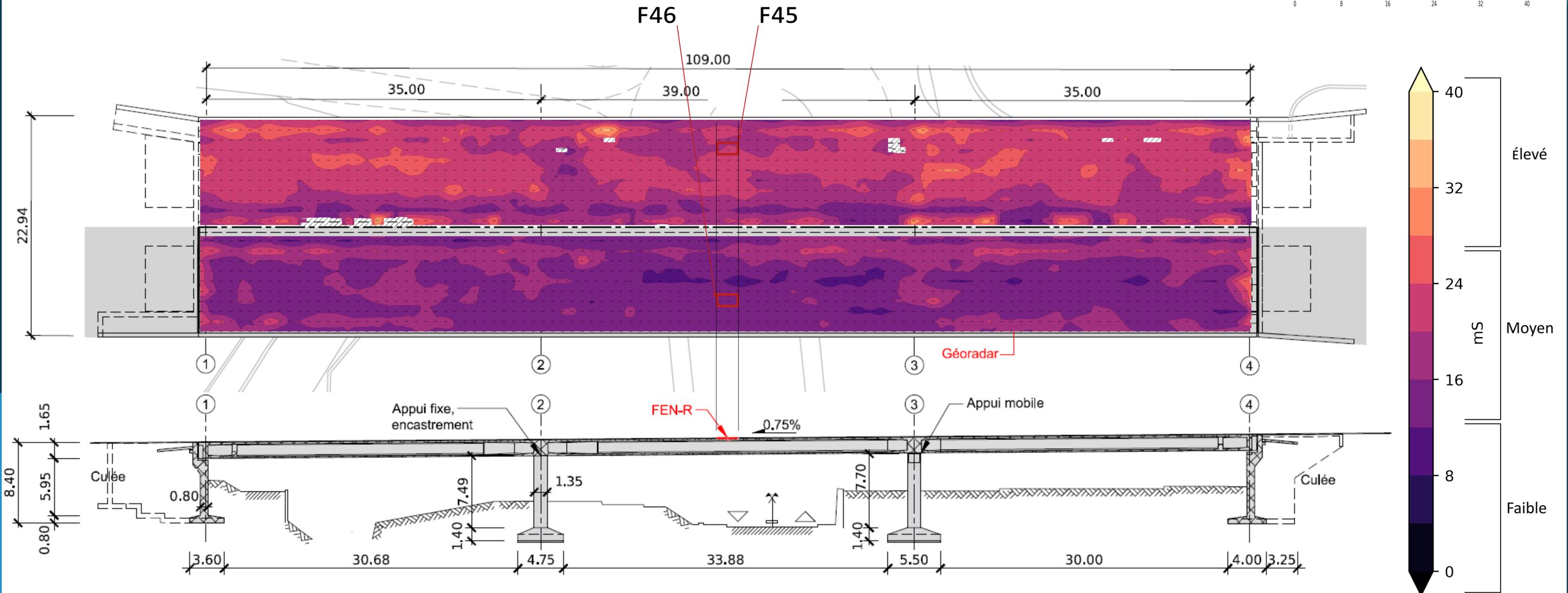
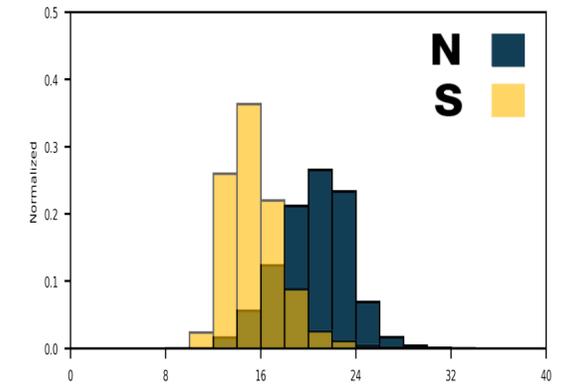
La distribution des valeurs mesurées suit une répartition normale sur les deux ponts. Chaque tablier présente localement des enrobages très faibles, en particulier à l'endroit du décaissement des tabliers. Ceci y indique une vulnérabilité accrue de l'armature et de la précontrainte transversale.



CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – PONT AUTOROUTIER

CONTAMINATION

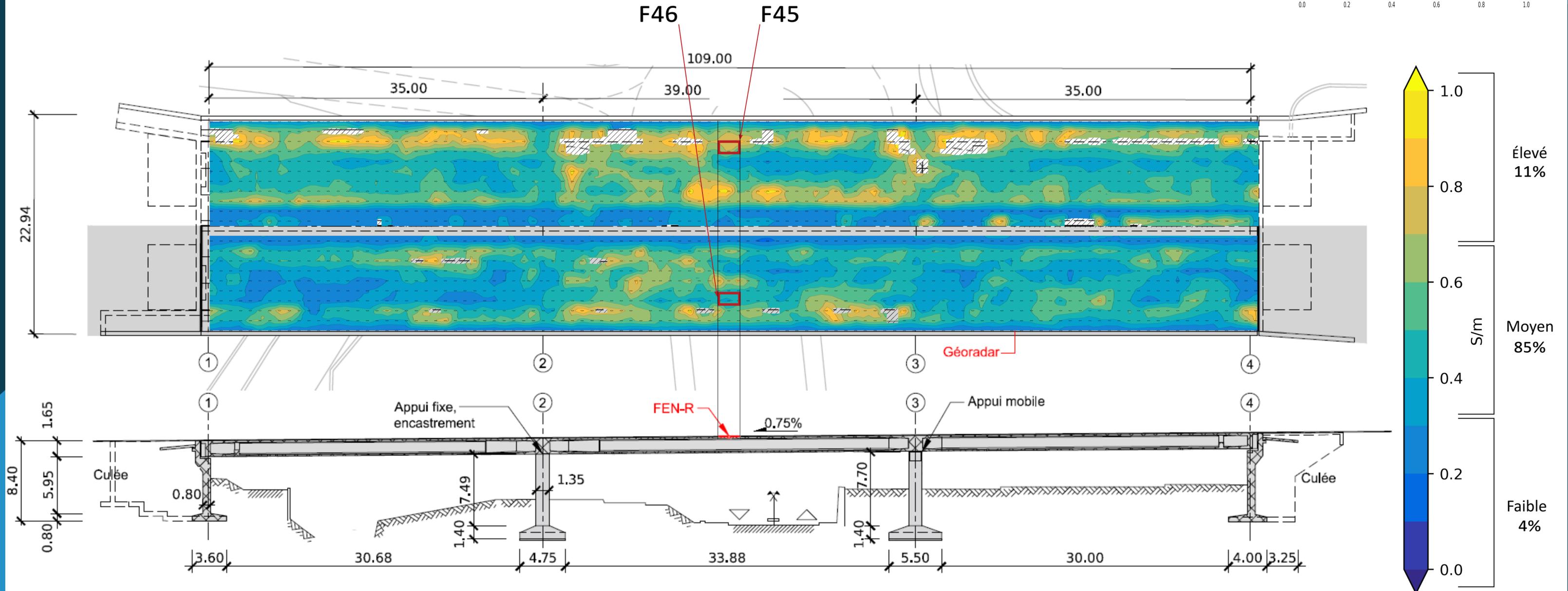
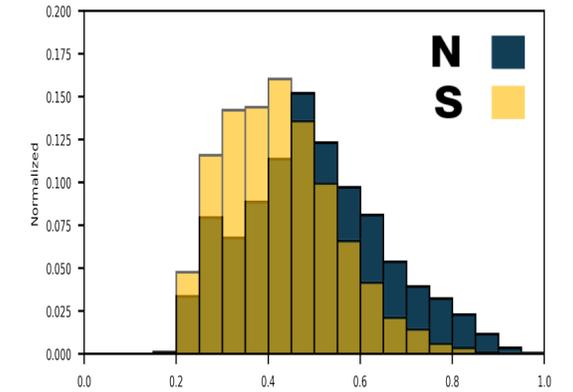
La contamination observée est faible à moyenne dans l'ensemble. Le pont Nord se démarque par une contamination globalement plus élevée et présente quelques zones à forte contamination.



CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – PONT AUTOROUTIER

RISQUE DE CORROSION

Le risque de corrosion est moyen sur l'ensemble de l'ouvrage. Notre analyse révèle toutefois des zones sensibles, notamment aux points bas du dévers, c.-à.-d. dans les zones à faible enrobage. Une différence marquée est observée entre les deux ponts. Celle-ci s'explique par la présence d'une paroi anti-bruit à l'extrémité Nord.



CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – PONT AUTOROUTIER

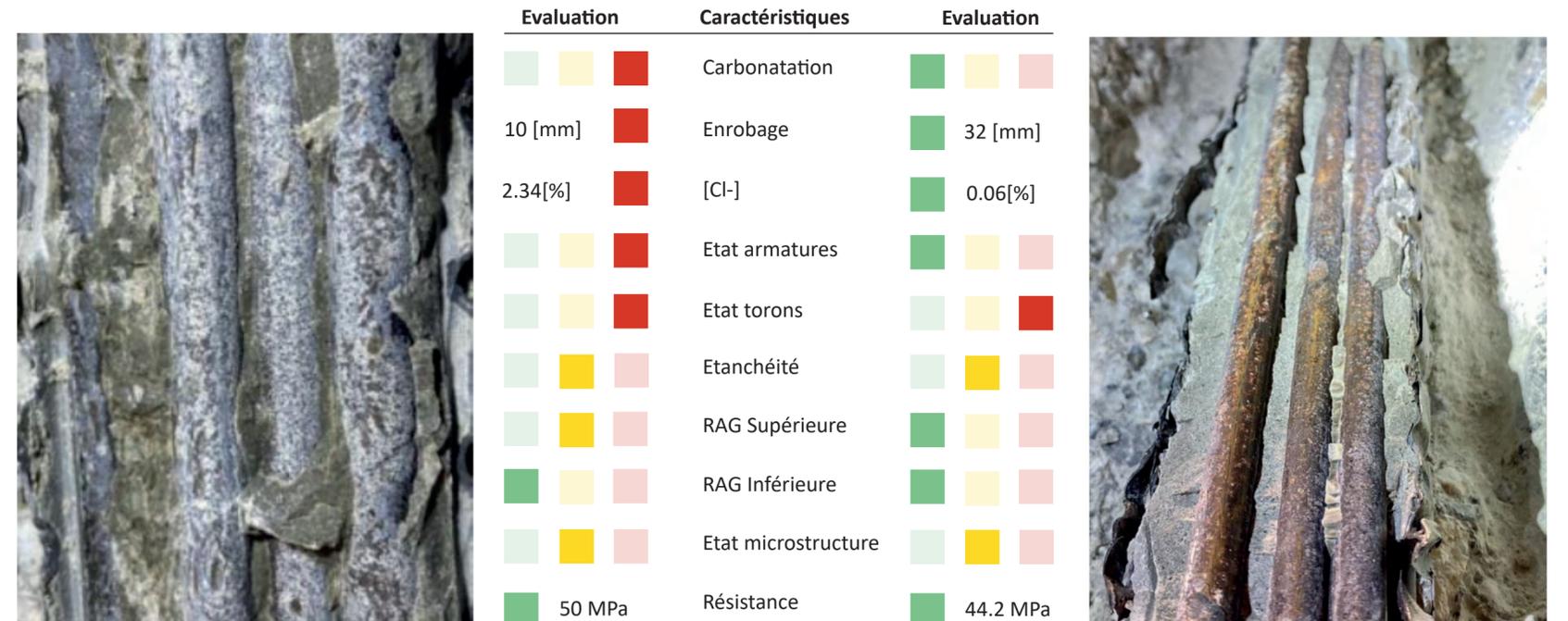
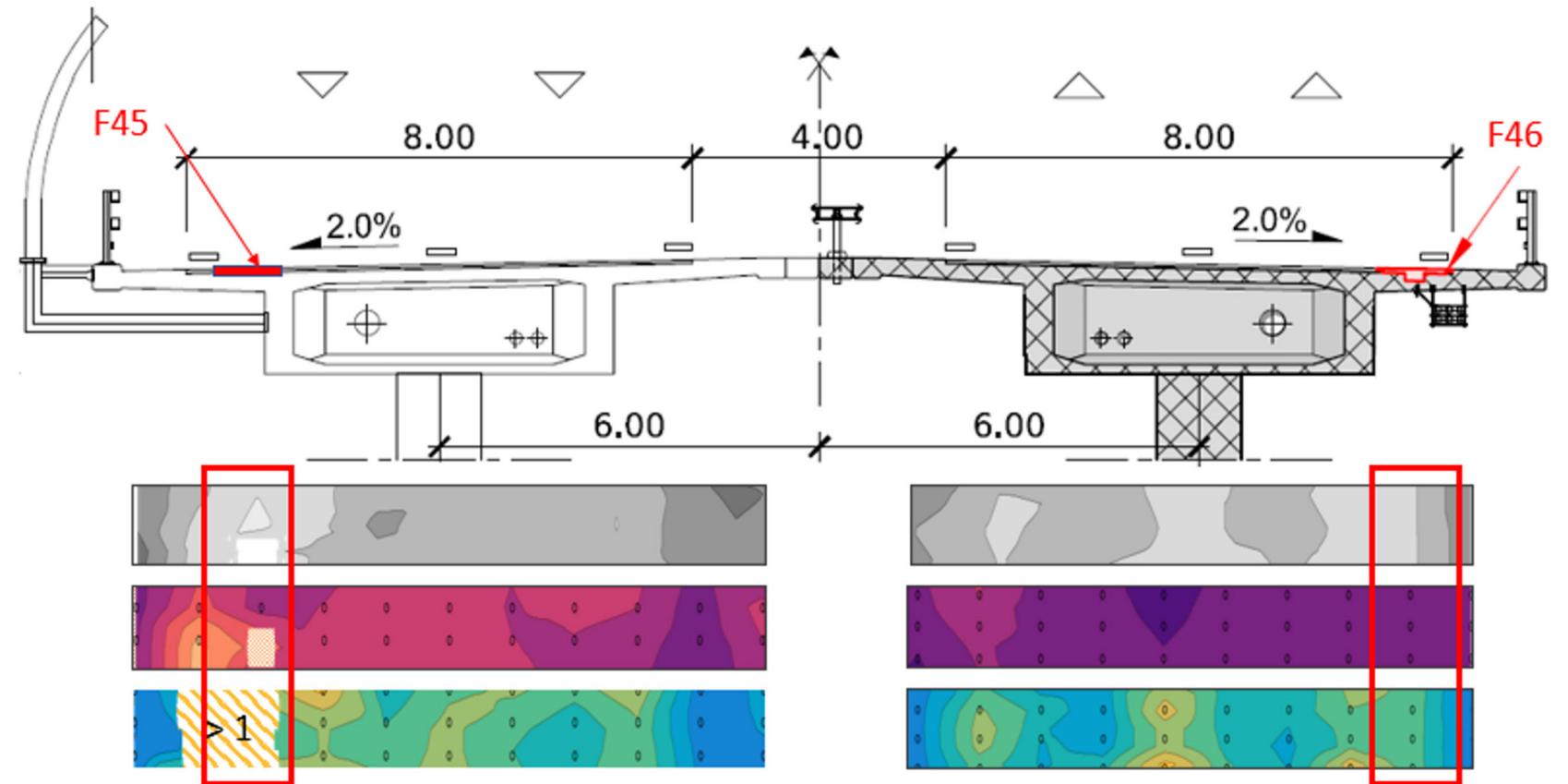
VÉRIFICATION SUPPLÉMENTAIRE ET CONFIRMATION DE LA CONTAMINATION

Une première fenêtre de sondage pour l'inspection de la précontrainte transversale a été réalisée dans une zone globalement saine du tablier Sud (F46).

Ce sondage indique des signes de corrosion superficielle des torons, malgré les taux de chlorures faibles.

Suite à nos mesures de très haute contamination sur le tablier Nord, un deuxième sondage y est recommandé (F45).

Ce deuxième sondage confirme nos mesures et consolide l'hypothèse de points d'entrée et d'accumulation de chlorures dans les gaines de la précontrainte transversale.



CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – TUNNEL

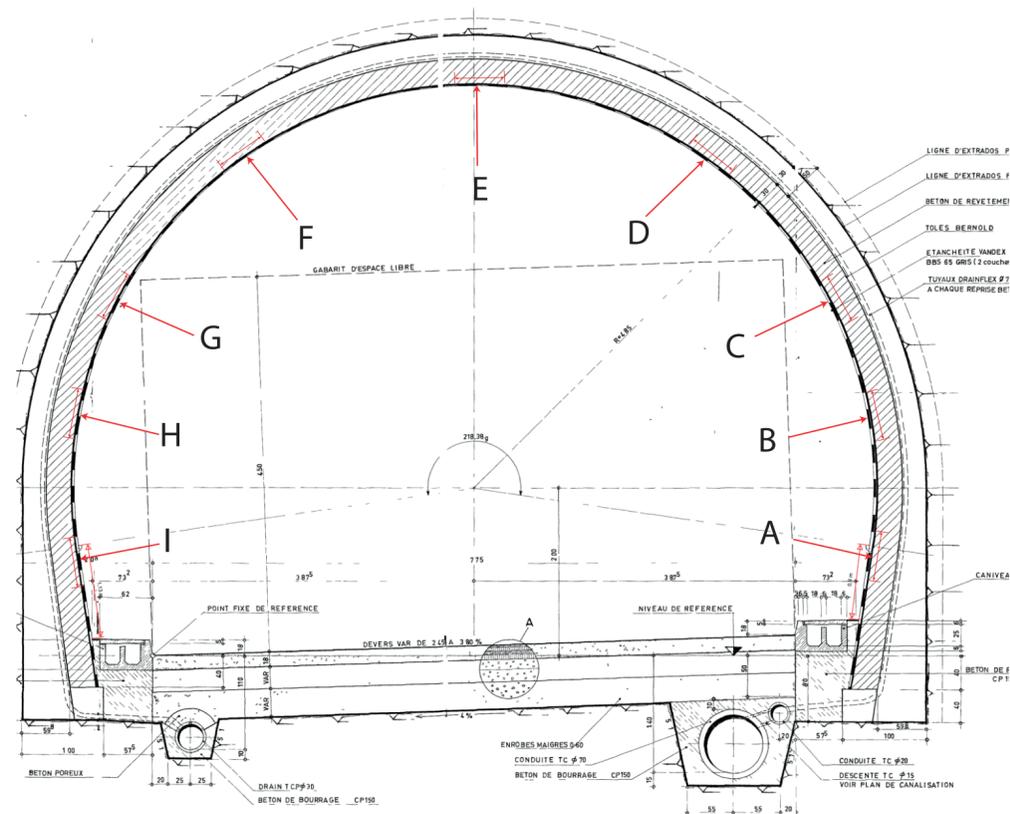
MÉTHODOLOGIE

Une série de 9 profils longitudinaux de 135 [m] à la nacelle. L'interruption du trafic a duré 2 x 6 heures. La densité de mesure a été déterminée de sorte à maximiser la surface inspectée et former un compromis réaliste entre le temps de mesure et la précision du résultat final.

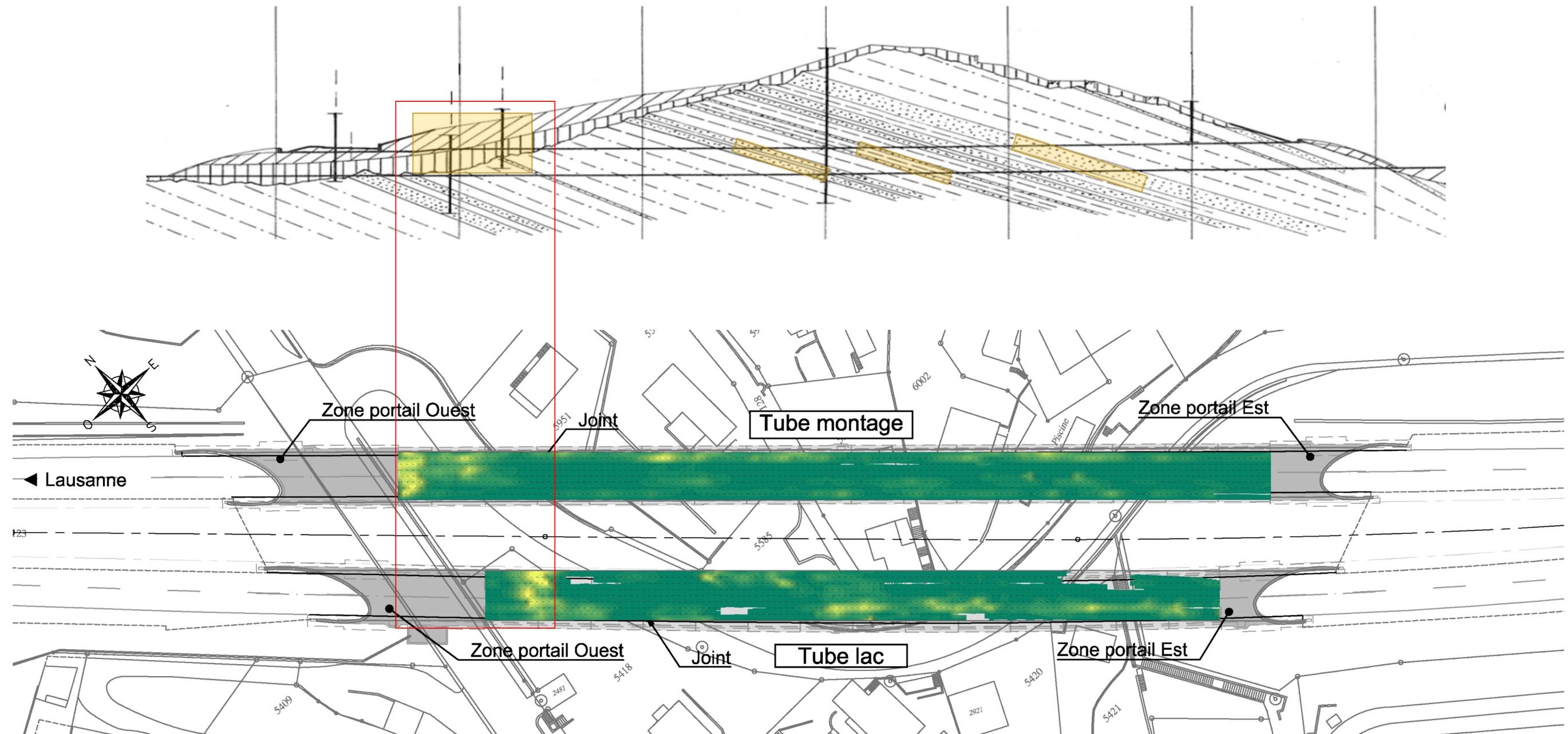
OBJECTIFS

La première partie de l'étude consistait à relever les épaisseurs de parement de l'ouvrage en prévision des travaux de remise en état.

Comme l'ouvrage présentait des signes de dégradation liés à la circulation d'eau, l'objectif de l'étude était de déterminer les points d'accumulation et de faiblesse du parement.



Lien entre le risque de décollement et le changement de faciès géologique.
Une zone particulièrement dégradée est observée au niveau du portail Ouest.

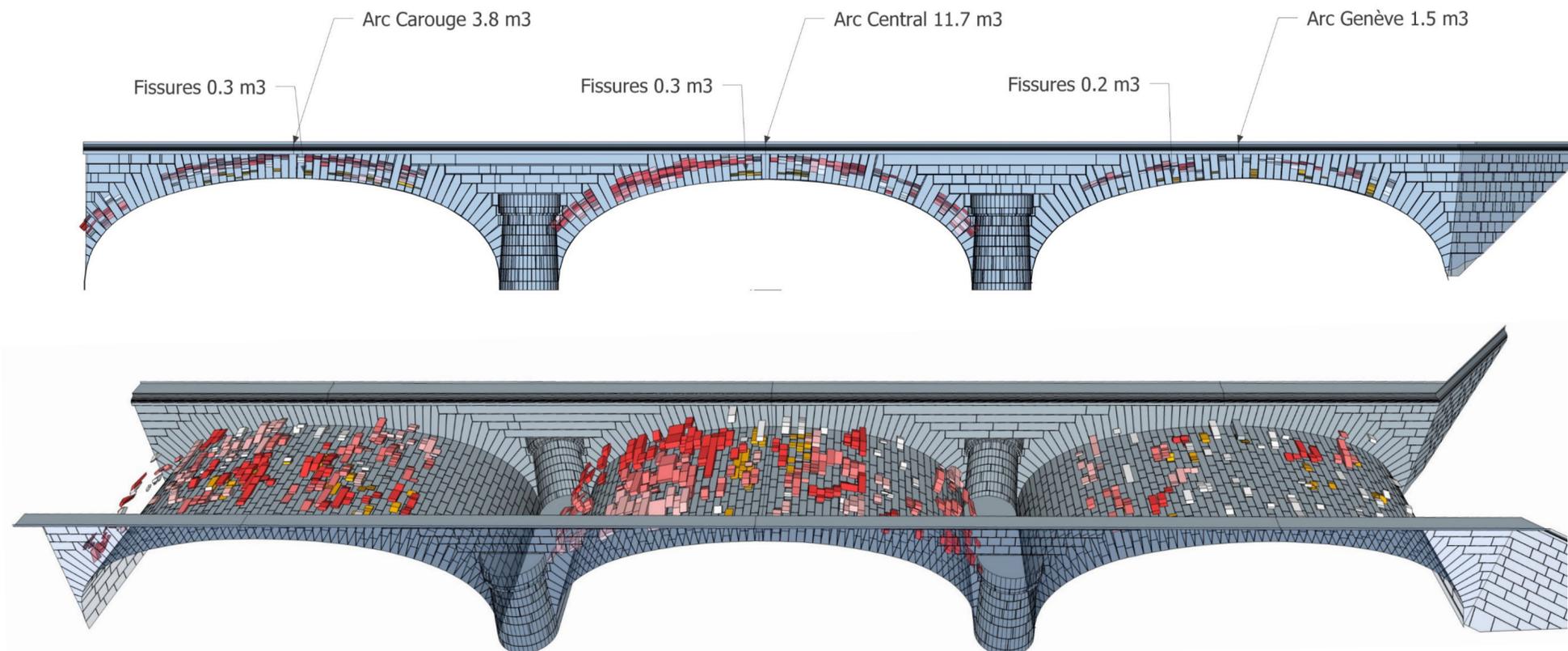


OBSERVATIONS

Une zone de terrain meuble est située entre deux routes, cette zone se trouvant à l'aplomb des observations d'infiltration. Elle pourrait agir comme point d'entrée et de réservoir, accélérant ainsi les dégradations.



CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – PONT EN MAÇONNERIE



OBJECTIFS

Le pont présentait une étanchéité défectueuse. Nous avons été mandatés pour déterminer le type et le nombre de désordres présents au sein de la structure. Fissures, vides et défauts de jointoyage. Enfin il nous a été demandé d'estimer les volumes de remplissage.

MÉTHODOLOGIE

240 profils Géoradar collectés en 6 nuits de mesures. Cartographie 3D des voûtes

CARTOGRAPHIE D'OUVRAGE – PONT EN MAÇONNERIE



En rouge: vides avant injection; en vert: vides résiduels après la 1^{ère} injection

RÉSULTATS

L'objectif d'une réduction des vides de 75% était atteint après deux injections (79% de réduction des vides). L'intervention a été très efficace: toutes les mesures et injections ont été effectuées depuis l'intrados des arcs, sans interruption du trafic routier. Les délais et les volumes ont été respectés.



BRIDGOLOGY

Bridgology SA
Le Grand-Chemin 73
1066 Epalinges
info@bridgology.com

Bureau d'Experts-Conseils
Spécialistes d'Analyse de Données
Non-Destructives
www.bridgology.com

Version mars 2021

