

RAPPORT

CETE
Normandie Centre

LRR
Laboratoire Régional
de ROUEN

Mesures géophysiques sur le Pont de Coq - Ménerval (76)

Dossier de présentation pour
actions de recherche et de
valorisation

Cyrille Fauchard

19 septembre 2013



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable,
des Transports et du Logement

Historique des versions du document

| Version | Auteurs | Date | Commentaires |
|---------|------------------|-------------------|---|
| 1.0.0 | Cyrille Fauchard | 19 septembre 2013 | Sauvegarde du patrimoine historique et valorisation de la recherche |
| | | | |
| | | | |

Affaire suivie par

| |
|---|
| Cyrille Fauchard/ CETE NC - ERA23 GEOPHY |
| Tél : 02 35 68 92 95/ Fax : 02 35 68 81 72 |
| Courriel : cyrille.fauchard@developpement-durable.gouv.fr |

Référence Internet

<http://www.cete-normandie-centre.developpement-durable.gouv.fr>

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 7 |
| 1 Mesures géophysiques sur le Pont de Coq - Résumé | 8 |
| 1.1 Acteurs impliqués dans ce travail | 8 |
| 1.2 Situation et contexte géologique | 8 |
| 1.3 Résumé des mesures géophysiques réalisées par le CETE Normandie Centre | 8 |
| 1.3.1 Mesures radar sur le Pont De Coq : étude de la maçonnerie et de la structure interne | 9 |
| 1.3.2 Mesures radar et électriques sur le Pont De Coq : étude des abords | 10 |
| 1.3.3 Restitution des résultats améliorée par la photogrammétrie | 10 |
| 2 Intervention complémentaire à prévoir | 14 |
| 2.1 Objectif des mesures complémentaires | 14 |
| 2.2 Implantation prévue des mesures complémentaires | 14 |
| 3 Conclusion | 17 |
| Conclusion | 17 |

Table des figures

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Localisation du Pont de Coq en Normandie. | 9 |
| 2 | Photographie et description du Pont De Coq. | 10 |
| 3 | Mesures radar 1,5 GHz sur la voûte. | 11 |
| 4 | Mesures radar 400 MHz, TRE et premier modèle restitué de l'ouvrage. | 12 |
| 5 | Amélioration du modèle et de sa représentation à l'aide de la photogrammétrie avec un profil radar 1,5 GHz radial. | 13 |
| 6 | Amélioration du modèle et de sa représentation à l'aide de la photogrammétrie avec trois profils de tomographie de résistivité électrique. | 13 |
| 7 | Localisation des mesures TRE prévues aux abords du pont - recherche du passage à gué. | 15 |
| 8 | Localisation des mesures TRE prévues au niveau de la vallée - recherche de paléochenaux | 16 |

Introduction

L'ERA 23 du CETE Normandie Centre a réalisé des mesures géophysiques le 12 juillet 2011 à la demande de l'Association pour la Sauvegarde du Pont de Coq. L'objectif était d'évaluer l'état structurel du pont et de ses abords. Deux méthodes ont été utilisées : la tomographie de résistivité électrique (TRE) et le radar géologique (plus souvent appelé GPR, pour Ground Penetrating Radar).

Cette intervention répondait à deux missions essentielles confiées au CETE Normandie Centre :

- 1 - la sauvegarde du patrimoine historique ;
- 2 - la valorisation des outils de recherche développés dans le cadre de nos expertises.

Aujourd'hui, des mesures complémentaires mériteraient d'être réalisées. Elles contribueraient à la reconstruction historique de l'ingénierie qui a été appliquée au cours des siècles pour la mise-en-oeuvre de cet ouvrage, mais aussi pour celles de nombreux autres ponts présents dans cette région. Par ailleurs, elles offrent des outils méthodologiques nouveaux pour les maîtres d'ouvrages, notamment par l'apport des mesures géophysiques, et de la photogrammétrie en particulier.

Ainsi, ce document présente dans une première partie un résumé des mesures réalisées et leur valorisation aux échelles locale, nationale et internationale. Dans une seconde partie, il montre l'intérêt de poursuivre les études sur cet ouvrage, dans un objectif de sauvegarde de ce patrimoine, mais aussi dans un objectif de valorisation de la recherche appliquée menée au CETE Normandie Centre, et de son transfert vers l'ingénierie publique et privée.

1 Mesures géophysiques sur le Pont de Coq - Résumé

1.1 Acteurs impliqués dans ce travail

Les organismes impliqués dans ces travaux, ainsi que leurs actions sont :

- Le Centre d'Études Techniques de l'Équipement - Normandie Centre, ERA23, associée à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, et à l'Université de Rouen. Réalisation des mesures géophysiques et photogrammétriques, leur traitement et leur interprétation, et la rédaction des articles français et anglais correspondants.
- Les Laboratoires ECODIV, Université de Rouen. Réalisation des sondages et de l'interprétation géologique.
- La Direction Régionale des Affaires Culturelles - Haute Normandie, Conservation Régionale des Monuments Historiques. Organisation des mesures
- Le Laboratoire de Morphodynamique Continentale et Côtière, UMR 6143-CNRS, Université de Rouen. Réalisation des sondages et de l'interprétation géologique.
- L'École Nationale des Sciences Géographiques, 6 et 8 Avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, Champs-sur-Marne. Appui pour le traitement photogrammétrique.

1.2 Situation et contexte géologique

Le Pont de Coq est un ouvrage probablement construit au début du 17^{ième} siècle, sur une ancienne route royale qui connectait Dieppe et Paris . Il est situé à la frontière de Ménéval et Saumont-La-Poterie (Figure 1) dans le Pays de Bray. Il enjambe l'Epte, affluent de la Seine long de 113 km. Le pont a été relativement bien préservé au cours du temps mais son entretien a été progressivement abandonné : la route royale est aujourd'hui un chemin agricole. Redécouvert en 2010, le Pont De Coq a été classé monument historique et est aujourd'hui restauré par une association (ASPC, Association pour la Sauvegarde du Pont de Coq). Les premières visites in-situ ont montré la présence d'anomalies sévères qui menaçaient à terme la stabilité de l'ouvrage (Figure 2). Des arbres se sont enracinés dans les culées et les réseaux racinaires ont partiellement détruit la maçonnerie des ailes. Par ailleurs le tablier, composé de pierres calcaires, présentait des défauts de surface (déjointement, affaissement). En revanche, la voûte, parfaitement circulaire, est restée relativement stable et seule une fissure entre voussoirs est présente du côté est de l'arche.

1.3 Résumé des mesures géophysiques réalisées par le CETE Normandie Centre

Le CETE Normandie Centre dispose de matériels géophysiques en mesure de contribuer au diagnostic du Pont De Coq. Le radar géologique a été proposé pour ausculter les ailes, la voûte et le tablier et sa chaussée sur les rives nord et sud. La tomographie de résistivité électrique a été déployée pour imager la structure du sous-sol qui borde l'ouvrage, et a ainsi révélé la géologie locale sur laquelle l'ouvrage fut construit. Nous présentons ici quelques exemples de mesures afin de montrer l'utilité de notre intervention et d'illustrer comment les outils de la recherche ont pu contribuer à la qualité du diagnostic par l'emploi de la photogrammétrie combinée aux résultats géophysiques.

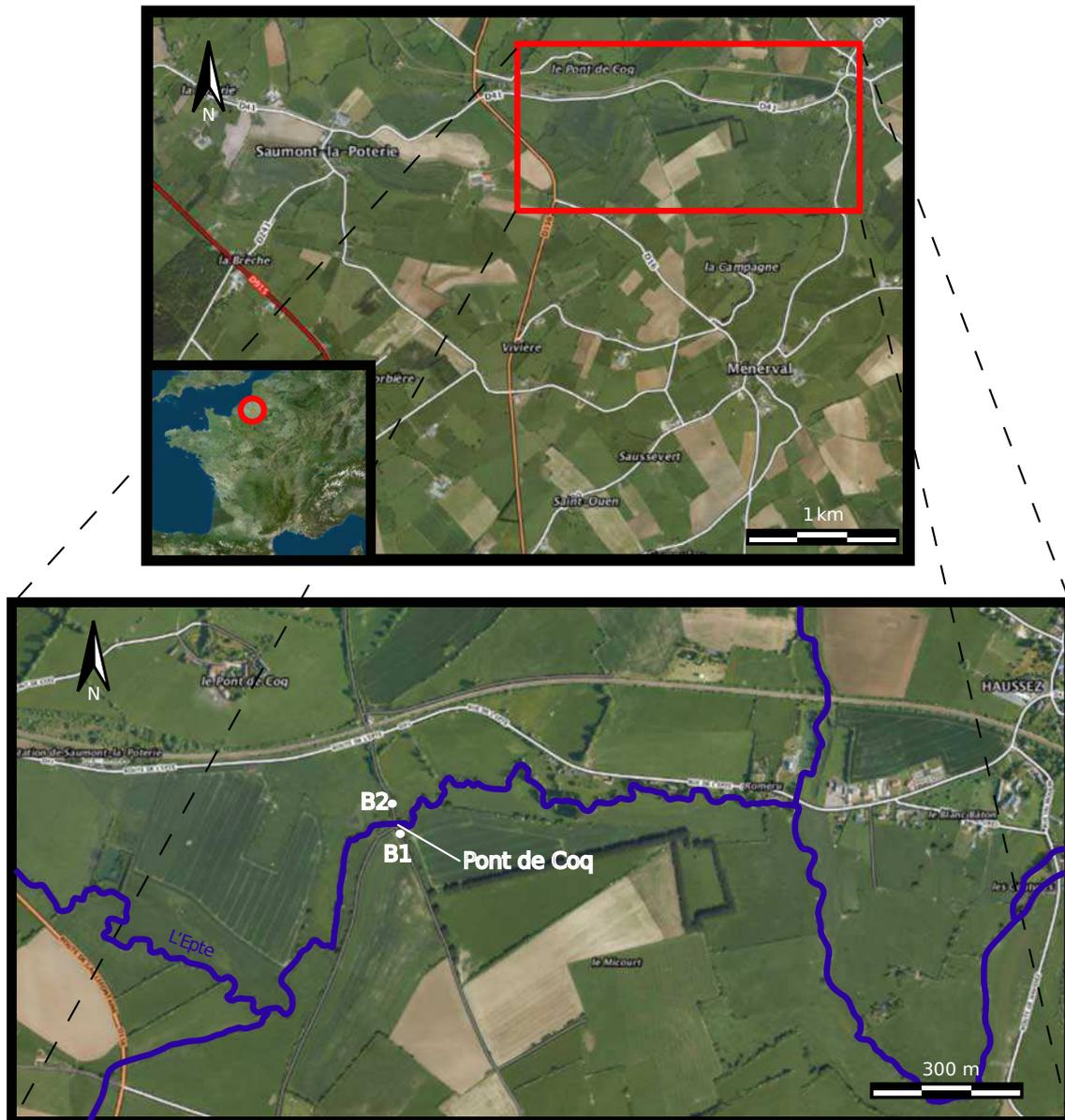


FIGURE 1 – Localisation du Pont de Coq en Normandie.

1.3.1 Mesures radar sur le Pont De Coq : étude de la maçonnerie et de la structure interne

Le radar a été utilisé pour diagnostiquer le tablier, les ailes et la voûte. Un exemple (Figure 3) réalisé depuis l'intrados, avec une antenne de contact de 1,5 GHz, montre les profils radiaux obtenus selon trois positions. On voit en particulier que le radar permet d'imager la structure interne de l'ouvrage et on localise des défauts variés comme les réseaux racinaires, à l'origine des désordres visibles depuis les ailes. Les défauts non identifiés, probablement des décollements/décompression au sein du matériau de remblai, pourraient être contrôlés par sondages.

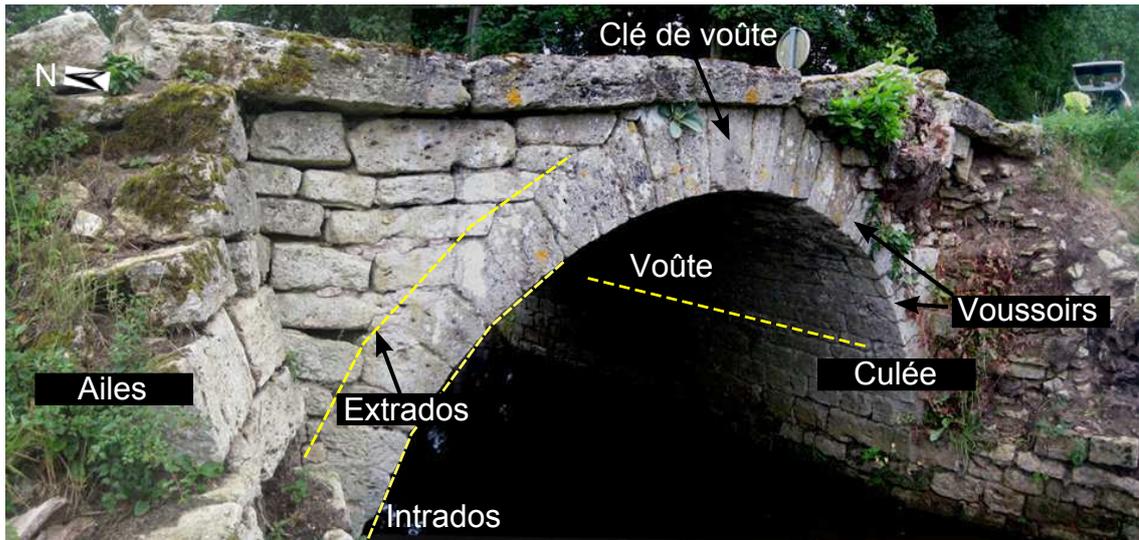


FIGURE 2 – Photographie et description du Pont De Coq.

1.3.2 Mesures radar et électriques sur le Pont De Coq : étude des abords

L'exemple suivant (Figure 4) montre comment l'association de mesures géophysiques peut contribuer à imager le pont et ses abords. Un profil radar réalisé à l'aide d'une antenne de contact de 400 MHz montre très clairement la position de la voûte (fortes hyperboles en milieu de profil) et la structure interne de la chaussée qui traverse l'ouvrage. Un profil de tomographie électrique, réalisé à l'emplacement exact du profil radar, montre en niveau de couleur les matériaux conducteurs (couleurs bleutées) et les matériaux résistants (couleurs orange et rouge). Les matériaux conducteurs sont généralement des argiles et limons argileux, tandis que les matériaux résistants sont associés aux remblais anthropiques, enrochements et graves. L'analyse conjointe des deux profils permet de réaliser un premier modèle du pont et de ses abords à destination du maître d'ouvrage, illustré par le schéma en bas de la figure.

1.3.3 Restitution des résultats améliorée par la photogrammétrie

Pour améliorer la qualité des résultats géophysiques et leur restitution auprès des maîtres d'ouvrage, le CETE Normandie Centre utilise la photogrammétrie et ses outils (logiciel MicMac) développés par l'IGN. Ils offrent une visualisation des mesures géophysiques au sein de l'ouvrage et rendent beaucoup plus intuitive l'interprétation des mesures (Figures 5 et 6). Par ailleurs, la photogrammétrie permet un positionnement précis des anomalies (ici, résolution inférieure au cm). L'utilisation de logiciel gérant les nuages de points permet enfin de se déplacer dans une scène 3D dans laquelle sont inclus les mesures et le modèle 3D photogrammétrique associé.

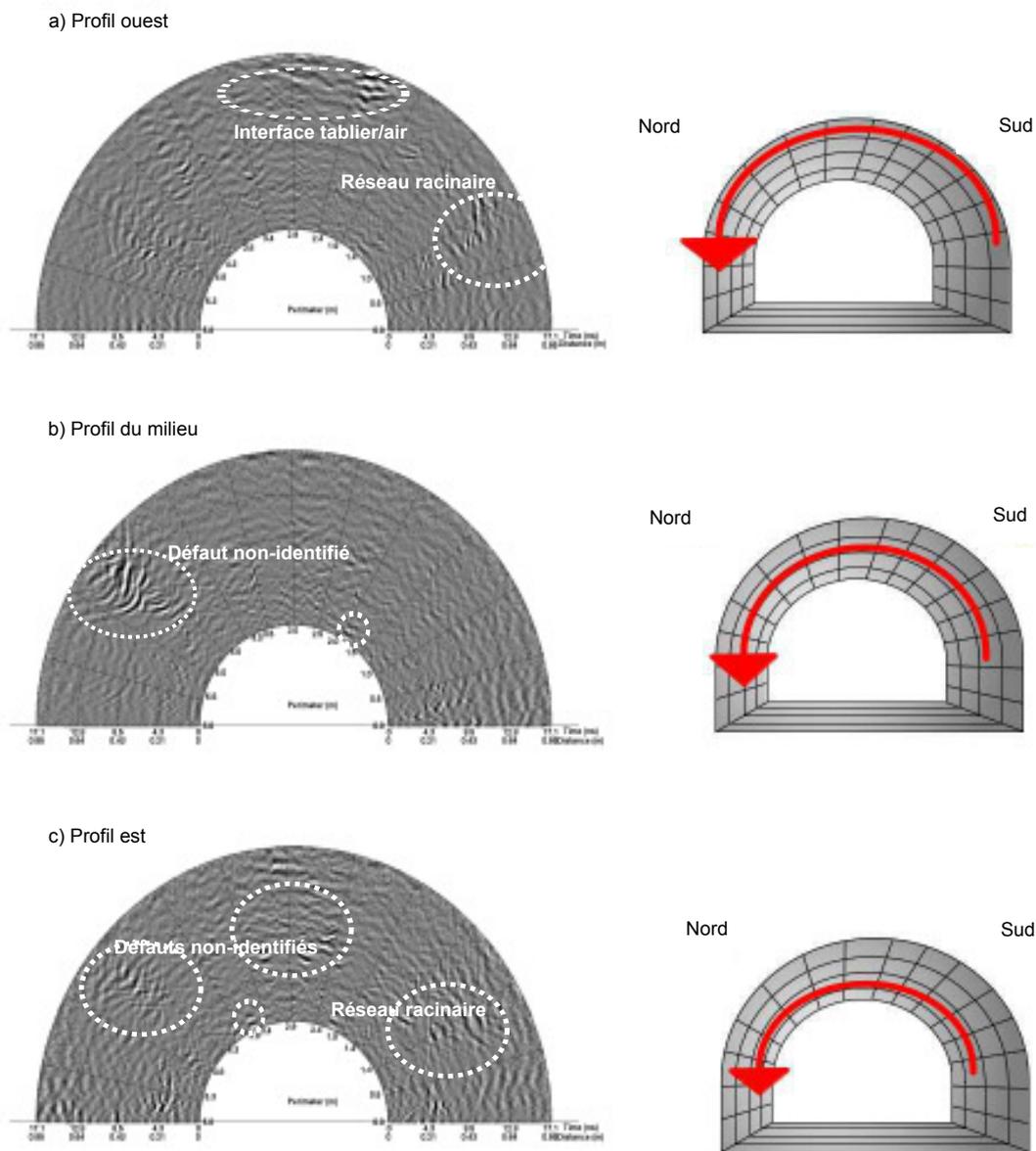


FIGURE 3 – Mesures radar 1,5 GHz sur la voûte.

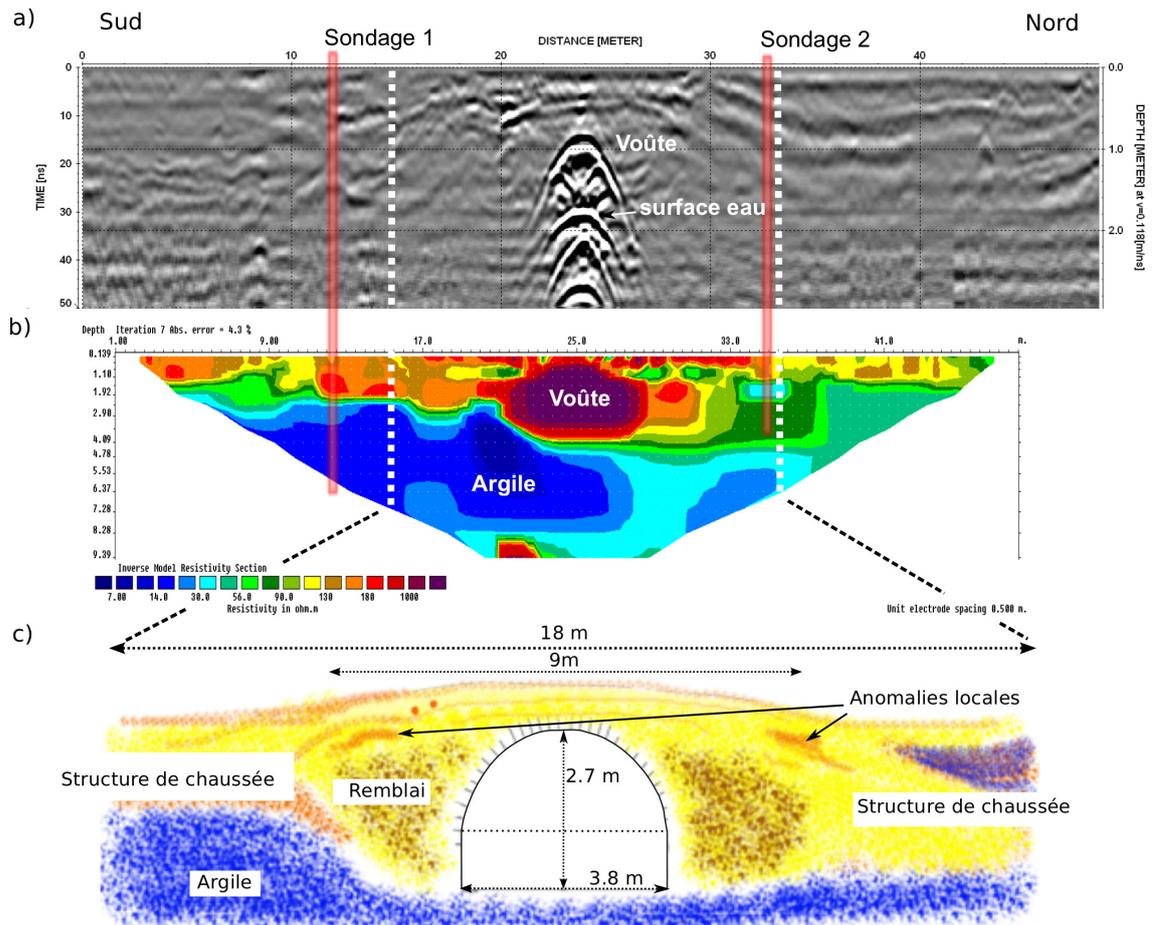


FIGURE 4 – Mesures radar 400 MHz, TRE et premier modèle restitué de l'ouvrage.

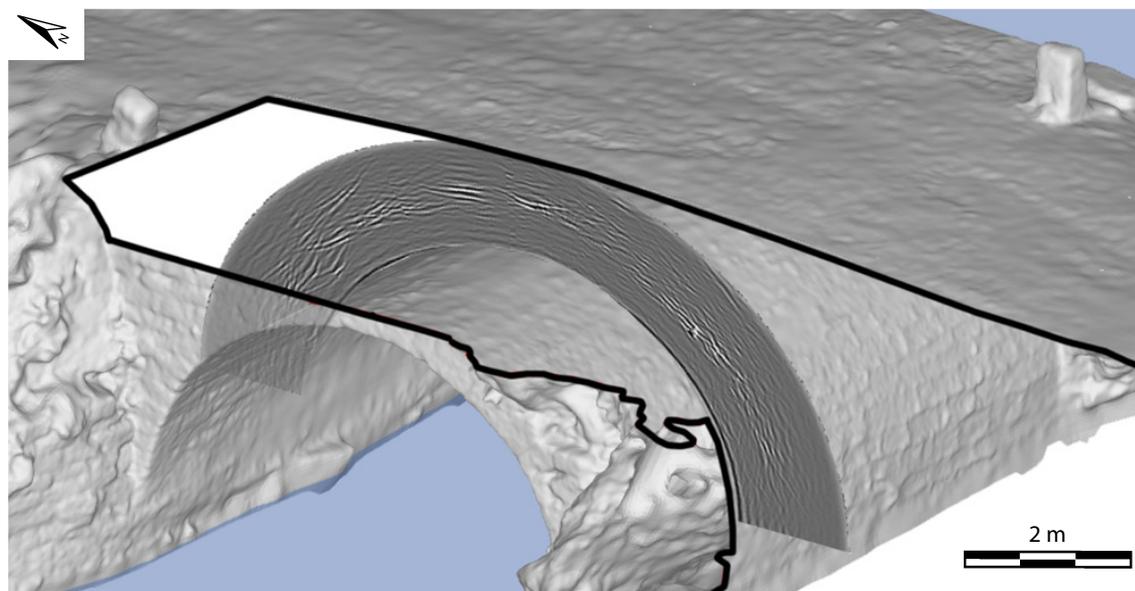


FIGURE 5 – Amélioration du modèle et de sa représentation à l'aide de la photogrammétrie avec un profil radar 1,5 GHz radial.

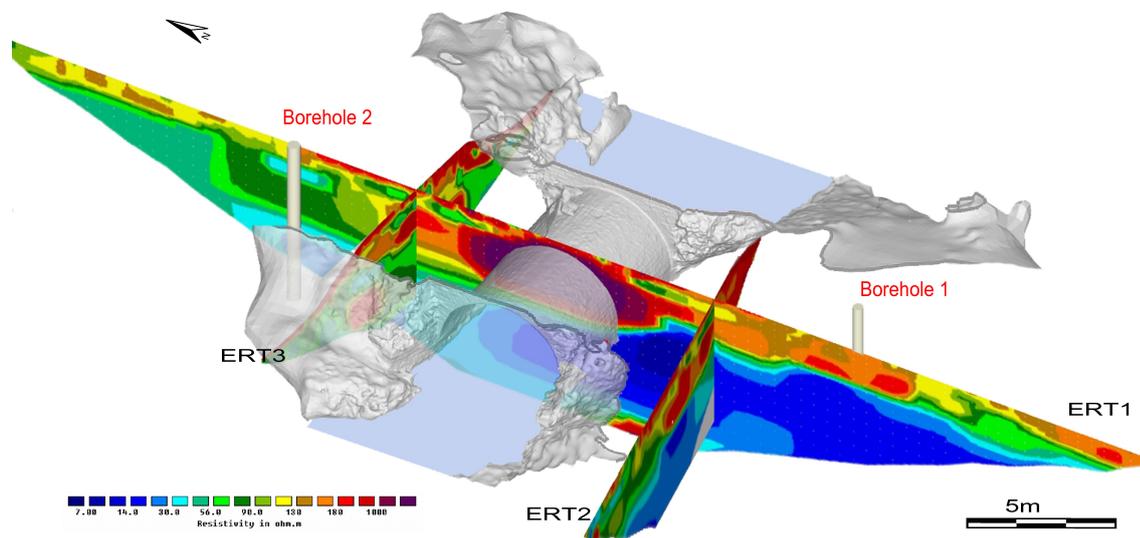


FIGURE 6 – Amélioration du modèle et de sa représentation à l'aide de la photogrammétrie avec trois profils de tomographie de résistivité électrique.

2 Intervention complémentaire à prévoir

2.1 Objectif des mesures complémentaires

La première étude menée en 2011 a montré toute l'utilité des méthodes géophysiques pour contribuer à un diagnostic de qualité. Elle a aussi permis à l'association et aux autorités locales d'envisager des projets d'aménagement pour la valorisation du patrimoine historique et de la faune qui l'entoure. Par ailleurs, les mesures géophysiques ont contribué à révéler l'histoire de la construction de l'ouvrage, mais aussi celle de la morphodynamique de l'Epte. En effet, l'analyse des méandres laisse supposer que ce cours d'eau fut détourné de son lit pour la construction du Pont. Une observation poussée des mesures électriques de 2011, confortées par un sondage réalisé en 2012, a permis de localiser une chaussée parallèle à celle existante, qui menait probablement à un passage à gué, avant que le pont ne fût construit. Ainsi, des mesures complémentaires de tomographie de résistivité électrique permettraient d'une part d'imager le bassin sédimentaire local, et de localiser les anciens chenaux de l'Epte (paléochenaux) avant la construction du pont [1]. De plus, elles permettraient aussi de reconstituer la disposition d'anciens ouvrages autour de ce pont. Enfin, l'application de la photogrammétrie à l'échelle locale permettrait là-encore d'améliorer la qualité des résultats des mesures et de valoriser une technique de pointe utilisée par le CETE Normandie Centre dans ses expertises et développée par l'IGN pour ses domaines d'études.

2.2 Implantation prévue des mesures complémentaires

Une dizaine de profils pourraient être implantés selon les schémas des figures et . Sur ces zones, des clichés photographiques seraient réalisés (une cinquantaine) afin de réaliser un modèle 3D du terrain dans lequel serait restitués les mesures géophysiques.

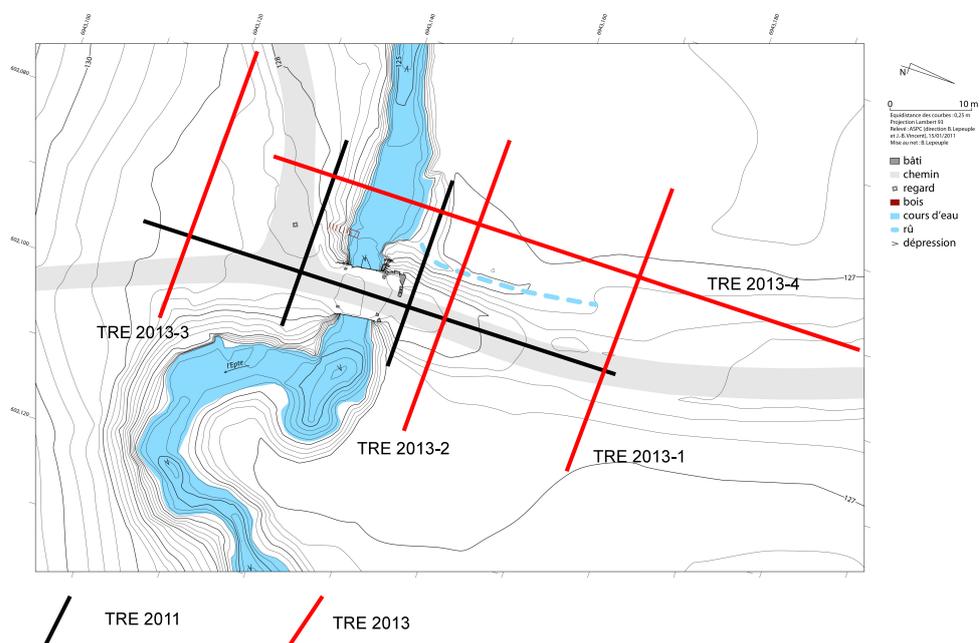


FIGURE 7 – Localisation des mesures TRE prévues aux abords du pont - recherche du passage à gué.

3 Conclusion

Des mesures géophysiques ont été réalisées en 2011 par le CETE Normandie Centre sur le Pont De Coq, ouvrage inscrit au titre des monuments historiques. L'intérêt scientifique de l'étude a mené à une publication de rang A dans un journal de géophysique appliquée [2]. Il a permis la collaboration avec des laboratoires universitaires de Rouen (ECODIV et M2C), la DRAC et l'IGN. Il a permis la valorisation d'un ouvrage médiéval redécouvert récemment, et permet aujourd'hui aux autorités locales d'envisager de nouveaux projets de valorisation. Aujourd'hui, le recul sur ces mesures ouvre de nouvelles perspectives scientifiques : une étude du bassin sédimentaire de l'Epte contribuerait à la connaissance géologique locale et les prospections aux abords pourraient mener à la découverte de nouveaux ouvrages qui ont précédé la construction du pont. Enfin, cette nouvelle expérimentation est l'occasion de valoriser les outils de la recherche développés par le CETE Normandie Centre aux profits des maîtres d'ouvrages.

Références

[1] Gourry, J.C., Vermeersch, F., Garcin, M., Giot, D., 2003. Contribution of geophysics to the 607 study of alluvial deposits : a case study in the Val d'Avaray area of the River Loire, 608 France. *J. Appl. Geophys.* 54, 35–49.

[2] Fauchard, C., Antoine, R., Bretar, F., Lacogne, J., Fargier, Y., Maisonnave, C., Guilbert, V., Marjerie, P., Thérain, P.F., Dupont, J.P., Pierrot-Deseilligny, M., 2013. Assessment of an ancient bridge combining geophysical and advanced photogrammetric methods : Application to the pont de coq, france. *Journal of Applied Geophysics* 98, 100–112.

DOSSIER DE PRÉSENTATION POUR ACTIONS DE RECHERCHE ET DE VALORISATION

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

CETE Normandie Centre
10, Chemin de la Poudrière
76121 Le Grand-Quevilly cdex
Téléphone : 02 35 68 81 00
Courriel : LRR.CETE-NC@developpement-durable.gouv.fr
<http://www.cete-normandie-centre.developpement-durable.gouv.fr>

**Présent
pour
l'avenir**