

Influence de la contrainte sur le signal radar au sein du béton

Aleth Confais¹, Gilles Klysz¹, Frédéric Taillade², Jean-Paul Balayssac¹, Julien Sanahuja³

¹LMDC, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

²R&D EDF, Chatou, France

³R&D EDF, Moret-Veneux-les Sablons, France

RÉSUMÉ Le béton précontraint est utilisé dans de nombreuses structures de génie civil notamment les barrages et les enceintes de confinement. Du fait du vieillissement des structures et de leurs matériaux (fluage, retrait, corrosion), des pertes de précontrainte peuvent survenir. Il est donc nécessaire de connaître l'état de contrainte pour assurer une sûreté structurelle. Les techniques d'investigation actuelles étant intrusives, elles ne peuvent être utilisées sur des structures telles que des enceintes de confinement. Il y a donc un besoin industriel de techniques non destructives pour évaluer l'état de tension des câbles.

Pour répondre à cette problématique, l'approche de ces travaux est d'utiliser des techniques électromagnétiques pour mesurer la contrainte dans le béton proche des câbles. La littérature sur ce sujet est peu conséquente, donc de façon plus pratique, le but de cette étude est d'étudier l'impact de la contrainte de compression sur la propagation des ondes radar au sein du béton.

Les résultats de ces essais montrent qu'une augmentation de la contrainte entraîne une diminution de l'amplitude sur les signaux GPR et Vivaldi. Des variations de la phase des signaux sont également observées pour les mesures Vivaldi. Ces variations dépendent de l'état hydrique du béton étudié. En effet, les signaux des dalles de béton sec ne varient pas avec la contrainte.

Mots-clés : Contrôle non destructif, GPR, antennes Vivaldi, béton, contrainte

Key-words : Nondestructive technics, GPR, Vivaldi antennas, concrete, stress

I. INTRODUCTION

De nombreuses structures de génie civil sont réalisées en béton précontraint, notamment des ponts, barrages ainsi que des enceintes de confinement. Or, il peut être sujet à des détériorations à la suite du vieillissement ou endommagement du béton ou des câbles de précontrainte. Celles-ci peuvent mener à une perte de tension dans les câbles. Pour la sûreté des ouvrages, il est essentiel de surveiller l'état de tension des câbles. La technique actuelle permettant de mesurer la tension des câbles est le test à l'arbalète (IFFSTAR, 2015) ; étant intrusive, elle ne peut être utilisée pour les enceintes de confinement. Il est donc essentiel de développer des techniques non destructives permettant d'évaluer les pertes de tension des câbles. L'approche de cette étude est d'évaluer de manière non destructive le niveau de contrainte du béton lui-même plutôt que d'évaluer la tension des câbles. En effet, le contrôle non destructif peut être utilisé pour déterminer des propriétés mécaniques du béton. Les ultrasons sont notamment utilisés pour estimer la valeur du module d'élasticité (Kolluru et al., 2000). De même, les

résultats de la littérature montrent la relation entre la contrainte et la résistivité du béton (Cao and Chung, 2002). Cependant, la littérature sur ce sujet est peu fournie. Cette étude vise donc à compléter celle-ci.

Cette étude a pour but de déterminer l'impact d'une variation de contrainte sur la propagation du signal radar en utilisant des antennes GPR. Du fait de l'impact de l'état hydrique du béton sur la propagation des signaux GPR dans le béton, deux états hydriques sont étudiés. Afin de compléter ces résultats, les mêmes essais sont réalisés avec des antennes Vivaldi.

II. DESCRIPTION PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

A. Équipements

Les antennes GPR utilisées dans cette étude sont des antennes GSSI 5100 de fréquence centrale 1.5 GHz branchées sur les voies d'acquisition d'un SIR30. Les antennes Vivaldi sont reliées à un analyseur de réseau vectoriel. Elles présentent une plage de fréquence de 100MHz à 20GHz. Dans cet article, seul le pic de fréquence le plus proche de la fréquence du GPR est étudié, à savoir le pic de fréquence $f=1,72$ GHz. Les mesures Vivaldi donnent comme résultat un nombre complexe, le coefficient de réflexion S . Pour étudier l'aspect temporel, la phase φ est calculée par le biais de la relation (1).

$$\varphi(f) = \arg(S(f)) \quad (1)$$

B. Béton

Pour cette étude, trois dalles de béton ont été coulées ; leurs dimensions sont $12 \times 60 \times 60$ cm³. Dans cette étude, deux bétons ont été utilisés. Le premier béton composant les dalles SA et SD présente une résistance à la compression de 47 MPa et une porosité de 15%. Le second béton composant la dalle SP présente une résistance à la compression de 37 MPa et une porosité de 17%. Afin d'étudier l'effet de la teneur en eau du béton sur les mesures, les dalles sont placées dans deux atmosphères différentes après la cure. Les dalles SA et SP sont conservées dans le laboratoire en atmosphère ambiante à l'endroit où les essais sont menés. La dalle SD est conservée dans une étuve à 80°C. Les mesures Vivaldi sont réalisées seulement sur la dalle SP.

C. Essais

Les essais réalisés dans cette étude consistent à mettre en compression des dalles de béton par le biais d'une presse hydraulique avec des chargement allant de 1 MPa à 15 MPa par pas de 2,5 MPa pour les essais GPR sur les dalles SA et SD et de 1 MPa à 9 MPa par pas de 1 MPa pour les essais Vivaldi sur la dalle SP. Les différences de niveau de chargement sont dues à la différence de résistance des bétons. Des plaques de téflon sont placées en dessous et au-dessus de la dalle afin d'éviter le frottement. Deux configurations sont étudiées : les mesures horizontales (champ électrique perpendiculaire à la charge) et verticales (champ électrique parallèle à la charge).

III. RÉSULTATS

A. Amplitude du signal GPR

Les variations d'amplitude pour chaque niveau de contrainte sont quantifiées par rapport au niveau de référence de 1 MPa en utilisant l'indicateur d'amplitude relative $A(\sigma)$ défini à l'équation (2) où $Ampl(\sigma)$ représente l'amplitude maximale de l'onde réfléchie pour un niveau de contrainte égal à σ MPa et $Ampl(ref)$ représente la même valeur pour le niveau de référence de 1 MPa.

$$A(\sigma) = \frac{Ampl(\sigma) - Ampl(ref)}{Ampl(ref)} * 1000 \quad (2)$$

La figure 1 présente l'évolution de l'indicateur d'amplitude relative $A(\sigma)$ en fonction de la charge appliquée sur les dalles ambiante SA et la dalle sèche SD pour les deux configurations d'essai. L'amplitude des signaux sur la dalle SA est influencée : plus la charge augmente, plus l'amplitude diminue. Bien qu'il y ait une diminution d'amplitude pour les deux configurations, une légère anisotropie peut être observée : l'influence de la charge est plus importante pour la configuration horizontale. Ces diminutions d'amplitude pourraient être causées par une augmentation anisotrope de la conductivité électrique. Les variations sont faibles mais les mesures sont répétables. Pour la dalle SD, le niveau de charge impacte peu l'amplitude. En effet, l'évolution de l'indicateur $A(\sigma)$ ne présente pas de variation en fonction de la contrainte et varie peu en comparaison avec ce qui a été observé sur la dalle ambiante. Ces résultats montrent que la teneur en eau du béton influence grandement l'impact de la contrainte sur l'amplitude du signal.

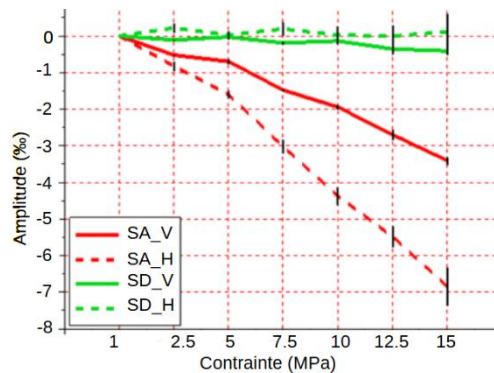


FIGURE 1. Évolution de l'indicateur d'amplitude relative A pour les dalles SA et SD.

B. Analyse de la phase

La phase φ_f est mesurée pour le pic de fréquence $f=1,72$ GHz et est utilisée pour calculer le décalage temporel des signaux pour chaque niveau de charge en comparaison avec le niveau de référence en utilisant la relation (3) :

$$\Delta t = \frac{\varphi_f(\sigma) - \varphi_f(ref)}{2\pi f} \quad (3)$$

La figure 2 représente l'évolution du décalage temporel en fonction de la charge appliquée sur la dalle. Cette figure montre que l'augmentation de la contrainte entraîne une variation négative temporelle donc un retard. Ces variations temporelles ne sont pas observées sur les mesures GPR du fait de la faible résolution temporelle. L'apparition d'un décalage temporel pourrait être lié à une variation de permittivité due à l'augmentation de la contrainte du béton.

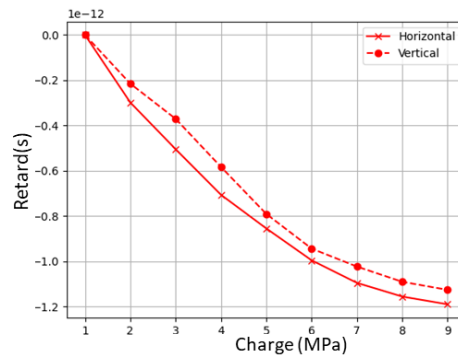


FIGURE 2. Décalage temporel en fonction de la charge pour la dalle SP

III. CONCLUSION

Les résultats présentés dans cet article montrent que la contrainte peut impacter l'amplitude des signaux radar : une diminution de l'amplitude est observée lorsque la charge augmente. Les variations observées sont faibles mais les essais sont répétables. Ce comportement est anisotrope et les variations sont fortement impactées par le degré d'humidité du béton. De plus, un retard est observé sur les mesures réalisées avec l'antenne Vivaldi. En se basant sur ces observations, l'hypothèse suivante peut être émise : la contrainte impacte la conductivité électrique et la permittivité du béton de manière anisotrope. Des simulations utilisant un modèle de propagation des ondes électromagnétiques au sein du béton confirment ces hypothèses. Ces variations pourraient être expliquées par des phénomènes poromécaniques actuellement à l'étude par le biais d'un modèle analytique. Cependant, cet article se focalisant sur les résultats expérimentaux, les aspects simulation et modélisation n'y sont pas présentés.

RÉFÉRENCES

Cao, J., Chung, D.D.L., 2002. Effect of strain rate on cement mortar under compression, studied by electrical resistivity measurement. *Cem. Concr. Res.* 32, 1657–1661.

[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00856-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00856-6)

IFFSTAR, 2015. Mesure de la tension des câbles et armatures de précontrainte au moyen de l'arbalète.

Kolluru, S. V., Popovics, J.S., Shah, S.P., 2000. Determining elastic properties of concrete using vibrational resonance frequencies of standard test cylinders. *Cem. Concr. Aggregates* 22, 81–89. <https://doi.org/10.1520/cca10467j>

Xian-Qi He et al, 2009. Review of GPR rebar detection. pp. 804–812.