

Développement d'un capteur de corrosion autonome RFID pour la surveillance des infrastructures

K. Bouzaffour¹, B. Lescop¹, P. Talbot¹, F. Gallée², S. Rioual¹

¹Univ Brest, CNRS, Lab-STICC, CS 93837, 6 avenue Le Gorgeu, 29238 Brest Cedex 3, France

²LabSTICC- Institut-Mine-Telecom-Atlantique, Brest, France

RESUME La corrosion des armatures est un paramètre fondamental de la durabilité des ouvrages en environnement marin. Elle conduit en effet avec la formation de produits de corrosion à l'éclatement du béton d'enrobage. L'objectif de ce travail est de produire un capteur totalement passif, de faible cout, et de faible dimension pouvant être immergé dans la couche d'enrobage et permettant le suivi de la corrosion. Il est basé sur la technologie UHF-RFID et peut donc être interrogé par des lecteurs commerciaux. Cet article détaille le principe physique du capteur.

Mots-clefs Capteur, corrosion, acier, RFID

I. INTRODUCTION

La corrosion de l'acier dans les infrastructures en béton est la première cause de détérioration du béton. Elle impacte fortement la durabilité des infrastructures. Dans des conditions normales d'utilisation, les armatures en acier sont protégées contre la corrosion par le pH élevé du matériau. Un film stable de passivation se forme alors sur la surface de l'acier, ce qui empêche les processus de corrosion d'opérer. Cependant, en milieu marin, avec la présence des ions chlorures, cette couche de passivation se brise, entraînant la dégradation des armatures et la fragilisation de l'ensemble de l'infrastructure. Le développement de capteurs totalement passifs et sans fil permettant le suivi de la corrosion de l'acier suscite de ce fait un engouement, notamment dans le contexte de la maintenance prédictive. En effet, l'absence de batterie et de câble facilite l'intégration de ce type de capteurs lors de la construction des infrastructures ou encore lors de leur réfection. La technologie UHF (Ultra High Frequency) RFID (RadioFrequency Identification) est alors particulièrement intéressante car elle permet de produire des étiquettes de faibles dimensions et à bas coûts. L'objectif de nos travaux de recherche est de développer ce type de capteurs. Plusieurs architectures peuvent être envisagées [1]. Récemment, nous avons proposé des résonateurs radiofréquences (RF) sensibles à la corrosion et pouvant s'intégrer dans une architecture RFID dite sans puce (RFID Chipless) [2]. Malgré l'intérêt de la méthode, le développement de tels capteurs souffre de l'absence de lecteurs RFID commerciaux. Une solution à ce problème consiste à utiliser

une architecture UHF-RFID conventionnelle avec la possibilité d'interroger les étiquettes par des lecteurs commerciaux. Dans ce cas, le verrou technologique à lever est de rendre l'étiquette sensible au paramètre environnemental suivi. C'est ce qui a été récemment effectué par la réalisation de capteur de corrosion atmosphérique reposant sur des étiquettes RFID conventionnelles [3]. Le principe du capteur repose alors sur l'interaction électromagnétique entre l'antenne de l'étiquette et un métal exposé à la corrosion. L'objectif sera dans cette présentation de montrer la faisabilité de la méthode pour le suivi de la corrosion de l'acier dans le béton.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Le développement d'étiquettes et de capteurs UHF-RFID immergés dans le béton repose sur la réalisation d'antennes à la fréquence de 868 MHz permettant de fournir de l'énergie à la puce et ainsi d'établir une discussion avec elle. Ceci est un problème complexe. En effet, le béton présente des propriétés électromagnétiques variables en fonction du degré d'humidité. Des modifications des propriétés de l'antenne sont alors attendues lors de son utilisation, notamment de sa fréquence de résonance. La présence du béton entraîne également l'apparition de pertes radiofréquence (RF) supplémentaires par rapport à un fonctionnement dans l'air du fait i) de la propagation des ondes dans le béton et ii) de la présence de l'interface air/béton. L'objectif de ce travail est donc, dans une première partie, de proposer une antenne fonctionnant dans le béton quel que soit sa teneur en eau et de tester que l'interrogation de la puce soit possible par un lecteur RFID. Les propriétés diélectriques du béton ont été étudiées ces dernières années sur une large gamme fréquentielle et pour différentes teneurs en eau [4,5]. A 868 MHz, une variation de la constante diélectrique et de la tangente de pertes entre $\epsilon'=6$ ($\tan\delta=0,1$) et $\epsilon'=12$ ($\tan\delta=0,6$) pour des bétons secs et saturés en eau de mer est considérée dans ce travail. Cette variation a été vérifiée expérimentalement au laboratoire par différentes méthodes, notamment celle en guide TRL. A partir de ces valeurs, en considérant un capteur dans la couche d'enrobage à 2 cm de profondeur, les pertes de transmission supplémentaires peuvent être estimées à environ 3 dB. Cette valeur est obtenue à partir des équations associées aux pertes de transmission/réflexion dans un milieu infini [6]. Cette valeur ne limite pas l'intégration d'antennes dans le cadre de la technologie RFID pour peu qu'elles présentent des propriétés de rayonnement correctes. Le point important est, en particulier, d'obtenir un gain compatible avec le bilan de liaison, ce qui implique de connaître la distance de lecture souhaitée ainsi que la sensibilité de la puce utilisée. Le second point concerne la déformation du diagramme de rayonnement de l'antenne induite par la présence du béton. Différents types d'antennes peuvent être considérées. Dans un travail précédent, nous avons montré qu'il était possible de réaliser des antennes patch directives dans le béton et de communiquer grâce à elles avec des puces RFID [6]. Une distance de lecture, *i.e.* la distance entre le lecteur localisé dans l'air et l'antenne immergé à 5 cm de profondeur, de l'ordre de 2,5 m, a été obtenue. La conception de l'antenne repose sur une minimisation des effets du béton sur les propriétés de l'antenne avec l'utilisation de couches protectrices autour de l'antenne. Une stratégie similaire a été proposée dans les références [7,8] mais à plus hautes fréquences. Dans ce travail, afin de réduire la taille de l'antenne et de simplifier l'adaptation d'impédance avec les puces RFID, une antenne dipolaire a été produite. La Figure 1 (a) présente l'antenne dipolaire sur un substrat FR4 localisé dans un bloc de béton à 2 cm de profondeur. Cette antenne est protégée du béton par un matériau isolant, en

blanc sur la figure. Dans le cas présent, il s'agit de mousse présentant une permittivité proche de 1 avec de faibles pertes. Comme le montre la figure, une couche métallique d'acier est également présente à proximité de l'antenne. Sa présence a pour but de fournir la sensibilité de l'étiquette à la corrosion. La Figure 1(b) présente par les courbes bleues et rouges le coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne pour des bétons secs et saturés en eau, sans partie métallique. Les résultats obtenus par simulations électromagnétiques par éléments finis (HFSS, Ansys) sont très proches montrant ainsi le faible impact d'une augmentation de la teneur en eau sur l'antenne.

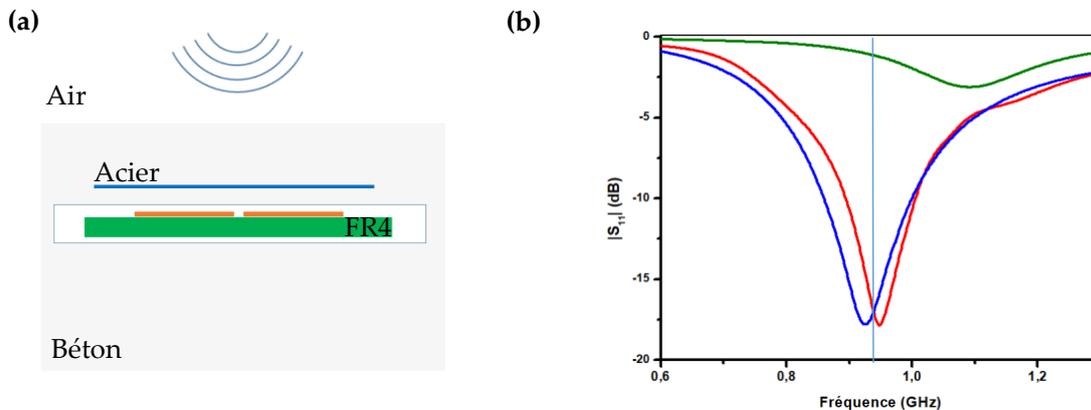


FIGURE 1. (a) schéma du capteur RFID. (b) simulations électromagnétiques du paramètre de réflexion S_{11} de l'antenne dipolaire dans des bétons secs et saturés en eau de mer (courbe rouge et bleue), soumise à l'interaction d'une couche métallique dans le béton sec (courbe verte).

Nous avons récemment montré qu'il est possible de suivre la corrosion d'un métal en considérant le couplage électromagnétique entre l'antenne et un élément métallique [3]. Dans ce cas, comme le montre la Figure 1(a), une partie métallique en acier est positionnée à proximité de l'antenne. La Figure 1(b) présente en vert l'influence du métal sur le coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne. Ceci a été réalisé en considérant le béton sec ($\epsilon' = 6$ ($\tan\delta = 0,1$)). Comme nous pouvons le voir, la résonance s'atténue. En conséquence, la présence d'un métal même d'épaisseur très faible et inférieure à l'épaisseur de peau perturbe fortement la transmission de l'onde RF.

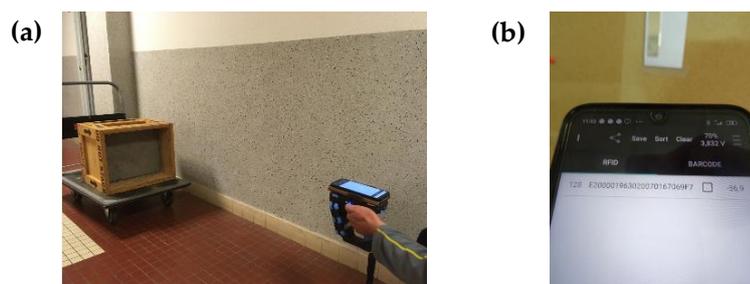


FIGURE 2. (a) interrogation d'un capteur immergé dans le béton par un lecteur RFID. (b) information recueillie sur un téléphone portable.

La variation du paramètre de transmission à 868 MHz ou encore celle du RSSI (Received Signal Strength Indicator) en technologie RFID est de ce fait un indicateur de l'état de corrosion de la couche métallique. Le mode de fonctionnement du capteur repose alors sur la mesure du RSSI par un lecteur RFID commercial. La Figure 2(a) présente cette opération d'interrogation avec un lecteur portable. Comme le montre la Figure 2(b), le lecteur RFID transfère par Bluetooth le niveau de puissance reçu : -56.9 dBm. Cette valeur traduit la transmission de l'onde RF et reflète le niveau de corrosion du métal présent dans le béton. La sensibilité de la méthode dépend alors de l'épaisseur de métal qui a été placé à côté de l'antenne. Il faut noter que le numéro d'identification de la puce est également accessible, ce qui permet l'utilisation d'un nombre important de capteurs. L'application de cette méthode au suivi de la corrosion de l'acier dans le béton a été étudiée à travers de nombreux tests en laboratoire [9]. La sensibilité de la méthode, l'effet de la teneur en eau dans le béton sur la mesure sont des paramètres importants qui seront discutés à la conférence.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Région Bretagne pour le financement de la thèse de K. Bouzaffour. Ce travail est financé par l'Union Européenne (European Regional Development Fund (ERDF)), le ministère de l'Education Nationale et de la Recherche, la Région Bretagne, le Conseil Général du Finistère et Brest Métropole Océane à travers le projet CPER MATECOM 2015-2020.

REFERENCES

- [1] J. Zhang, G.Y. Tian, A.M.J. Marindra, A.I. Sunny, & A.B. Zhao. (2017). A review of passive RFID tag antenna-based sensors and systems for structural health monitoring applications. *Sensors*, 17, 265.
- [2] M. Yasri, B. Lescop, E. Diler, F. Gallée, D. Thierry, & S. Rioual. (2018). Monitoring uniform and localised corrosion by a radiofrequency sensing method. *Sens. Actuators B : Chem.*, 257, 988-992.
- [3] I. El Masri, B. Lescop, P. Talbot, G. Nguyen Vien, J. Becker, D. Thierry, & S. Rioual. (2020). Development of a RFID sensitive tag dedicated to the monitoring of the environmental corrosiveness for indoor applications. *Sensors and Actuators B*, 322, 128602.
- [4] G. Klyz, J.P. Balayssac, & X. Ferrieres. (2008). Evaluation of dielectric properties of concrete by a numerical FDTD model of a GPR coupled antenna-Parametric Study. *NDT & E International*, 41, 621-631.
- [5] X. Dérobert, & G. Villain. (2017). Effect of water and chloride contents and carbonation on the electromagnetic characterization of concretes on the GPR frequency band through designs of experiment. *NDT & E International*, 92, 187-198.
- [6] K. Bouzaffour, B. Lescop, F. Gallée, P. Talbot, & S. Rioual. (2021). Development of autonomous UHF RFID sensors embedded in concrete for the monitoring of infrastructures in marine environments. *Proceeding of European Workshop Structural Health Monitoring, Palermo, P. Rizzo*

and A. Milazzo (Eds.), *Lectures Notes in Civil Engineering book series*, Springer Nature Switzerland, 172, 447-454.

[7] K.M.Z. Shams, & M. Ali. (2007). Wireless power transmission to a buried sensor in concrete. *IEEE Sensors J.*, 7, 1573–1577.

[8] T. Richard, M. Latrach, A. Ihamouten, C. Borderon, H.W. Gundel, & X. Dérobert. (2018). Design of an UHF antenna insensitive to the concrete dielectric characteristics. *Electromagnetic Non-Destructive Evaluation (XXI) D. Lesselier and C. Reboud (Eds.)*, 136.

[9] K. Bouzaffour, B. Lescop, F. Gallée, P. Talbot, & S. Rioual. (2021). Development of an embedded UHF-RFID corrosion sensor for monitoring corrosion of steel in concrete. *IEEE Sensors J.*, in press.