

**JOURNÉES SCIENTIFIQUES 2016****ÉNERGIE ET RADIOSCIENCES****Développement de capteurs passifs sans fil pour des applications au génie civil****Rania Khalifeh^{1,2}, Benoit Lescop¹, François Gallée², Gaël Le Roux¹ et Stéphane Rioual¹**¹ Lab-STICC/LMB, Université de Bretagne Occidentale, 6 av. Le Gorgeu; 29285 Brest Cedex, France² Lab-STICC, Telecom Bretagne, Technopôle Brest-Iroise, CS 83818, 29238 Brest Cedex, France

Mots clés : Résonateur, revêtement organique, décalage fréquentiel, caractérisation électromagnétique.

1. Introduction

La corrosion résulte d'une interaction physico-chimique entre un matériau métallique et l'environnement. Elle entraîne des modifications des propriétés du matériau et conduit souvent à sa dégradation. Le processus est gouverné par la présence de molécules d'eau et d'ions dans le milieu environnant. Des revêtements sont donc souvent utilisés pour isoler la structure à protéger. Cependant, leur vieillissement est inévitable, entraînant tout d'abord la diffusion de l'eau dans le revêtement puis le début de la dégradation de la structure. De la même façon, la dégradation des structures en bétons est gouvernée par la corrosion de l'acier du fait de la pénétration des ions Cl^- dans le béton. Dans ce cadre, il est de première importance de prédire la diffusion de l'eau dans les matériaux diélectriques. Ceci peut être réalisé par le déploiement de capteurs sur les revêtements à contrôler.

De nombreuses méthodes existent pour contrôler la pénétration de l'eau dans un revêtement organique, comme par exemple les méthodes gravimétriques ou électrochimiques. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) consiste à mesurer le changement d'impédance du revêtement au cours de sa dégradation. Malgré son succès, elle nécessite l'utilisation d'instruments de mesure coûteux et de grande taille. Le développement de capteurs basés sur ce principe n'est donc pas simple. Afin de résoudre ce verrou technologique, la conception de capteurs environnementaux inspirés de la technologie RFID passive est extrêmement intéressante. En effet, l'intégration de capteurs au sein des étiquettes ou badges est prometteuse puisqu'elle autorise le déploiement d'un nombre important de capteurs à bas coût. En outre, les capteurs peuvent être totalement autonomes d'un point de vue énergétique, ce qui constitue un avantage considérable dans le domaine du suivi de la dégradation des matériaux qui est un phénomène qui peut durer plusieurs décennies. Plusieurs stratégies peuvent être considérées pour le développement de tels capteurs. R. Suwalak et al. [1] ont proposé d'utiliser une étiquette standard dont l'impédance change avec l'intrusion de l'eau dans le diélectrique.

Ce type de capteur étant basé sur une variation d'amplitude de l'onde émise par le tag, il est très sensible aux paramètres environnementaux. La transmission de l'information est donc peu robuste. Afin de résoudre ce point, nous avons récemment proposé des étiquettes composés de résonateurs dont la fréquence de résonance est modifiée avec la variation d'un

paramètre environnemental. Ceci a été appliqué à la mesure de la perte de masse de matériaux métalliques [2].

Dans ce travail, l'objectif est d'insérer un élément sensible à la diffusion de l'eau au sein de l'architecture RFID « chipless » proposée, par exemple par Preradovic et Karmakar [3]. Le capteur est présenté sur la figure 1(a). Le système se compose d'un lecteur d'interrogation et d'une partie associée au capteur. Il fonctionne avec la rétrodiffusion du signal d'interrogation via l'utilisation d'antennes Tx/Rx.

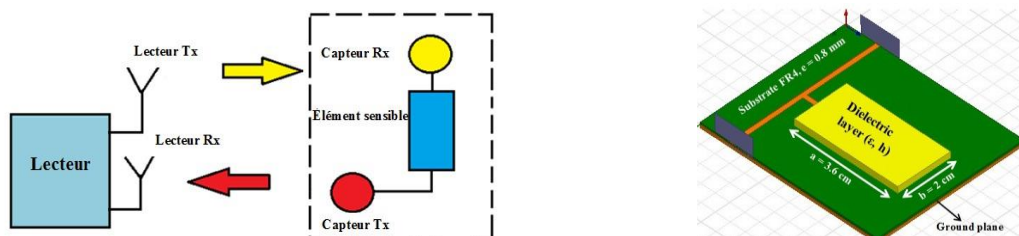


Fig.1. a) Schéma illustratif du lecteur et du capteur, b) Résonateur stub revêtu d'un revêtement organique (en jaune) de permittivité diélectrique ϵ et d'épaisseur h .

En considérant cette architecture, l'onde RF se propageant dans le capteur doit être sensible à la présence d'eau dans le matériau sous contrôle, avant d'être réémise vers le lecteur. Dans ce cadre, l'utilisation de la technologie micro-ruban est intéressante. En effet, les lignes micro-rubans étant des structures RF ouvertes, elles garantissent une interaction entre l'onde et le milieu extérieur. Nous considérons donc dans ce travail le développement de résonateurs micro-rubans stub dont la fréquence varie en fonction de la présence d'eau dans son voisinage. La figure 1(b) présente l'élément sensible : un résonateur recouvert d'un revêtement diélectrique.

2. Méthode et instrumentation

Expérimentalement, les résonateurs ont été produits par les techniques classiques de photolithographie sur des substrats FR4. L'adaptation à 50 ohms est garantie par l'élaboration de lignes microrubans de 1.5 mm de largeur (w) sur des substrats de 0.8 mm d'épaisseur, et en supposant une constante diélectrique de 4.4 pour le FR4. La longueur du résonateur utilisé a été fixée à 3.4 cm, afin d'obtenir une résonance de 1.196 GHz dans l'air. La méthode n'étant pas restreinte aux revêtements organiques, deux types d'applications ont été considérés. Un résonateur a été recouvert par un revêtement époxy d'Akzo Nobel. Un second résonateur a, quant à lui, été intégré dans un bloc de mortier. Dans les deux cas, ils ont été immergés dans l'eau afin d'observer la diffusion de l'eau dans le matériau. Au cours de cette période, l'acquisition des paramètres de transmission S_{21} a été réalisée par un analyseur de réseau (HP 8720B). Afin de prouver que le capteur procure des informations semblables à celles obtenues par les techniques gravimétriques et électrochimiques, plusieurs cycles d'absorption/désorption d'eau ont été réalisés. Les simulations ont été effectuées par HFSS 15.0 (ANSYS).

3. Résultats et discussion

En raison de la forte valeur de la permittivité diélectrique de l'eau ($\epsilon \approx 81$) par rapport aux autres matériaux, son absorption doit conduire à un changement de la permittivité diélectrique effective ϵ_{eff} du résonateur RF présenté sur la figure 1(b) et ainsi à une variation de la fréquence de résonance. Afin de démontrer ce concept, nous considérons tout d'abord le résonateur stub recouvert par un revêtement d'épaisseur h et de permittivité diélectrique ϵ variable. Sur la figure 2 (a), nous présentons les simulations électromagnétiques HFSS de la transmission de l'onde pour $h = 1 \text{ mm}$ et pour plusieurs valeurs de ϵ . L'augmentation de la

permittivité diélectrique du revêtement de 3 à 60 modifie la fréquence de résonance de 1.15 GHz à 0.95 GHz, ce qui démontre la sensibilité de la méthode à ϵ et donc à l'eau. Ce résultat a été également obtenu pour diverses épaisseurs du revêtement. Cependant, la sensibilité de la méthode dépend des paramètres géométriques utilisés pour la réalisation du résonateur.

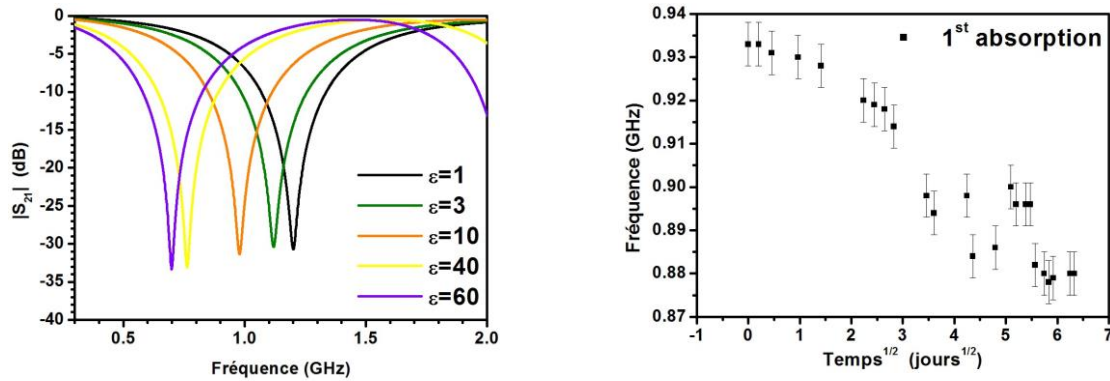


Fig.2. a) Paramètres de transmission pour $h = 1\text{mm}$ et différentes valeurs de ϵ b) Variation de la fréquence de résonance lors du premier cycle d'absorption

Ces résultats théoriques ont été validés expérimentalement en considérant tout d'abord le résonateur stub recouvert par divers polymères (FR4, PC, PET,...) pour $h = 0.5\text{mm}$. Ceci a permis de montrer une dépendance linéaire de la fréquence de résonance en fonction de ϵ , pour ϵ variant entre 3 et 60. La figure 2(b) présente la variation de fréquence du résonateur en fonction du temps d'immersion lorsque le résonateur est recouvert d'un revêtement à base d'époxy ($\epsilon = 4.5$) et d'épaisseur 0.6 mm. Deux cycles d'absorption ont été réalisés. Pour le premier cycle, nous constatons le passage de la fréquence de résonance de 0.933 GHz à 0.88 GHz au bout de 40 jours indiquant un changement de permittivité diélectrique ϵ de 4.5 à 6. Ce processus a été confirmé par microscopie. Notons que du fait de cette dégradation, le profil observé durant le premier cycle ne correspond pas à une loi de Fick. Par contre, la diffusion de l'eau durant les cycles suivants, présente un caractère fickien, avec une dépendance linéaire pour les temps courts. La diffusion de l'eau induit une variation de permittivité diélectrique du matériau mais également des changements de sa résistance électrique. Ceci peut être observé en considérant le facteur de qualité de la résonance.

De ce fait, afin d'exploiter l'ensemble des résultats, le résonateur a été modélisé par un circuit résonant équivalent RLC et les valeurs de R , L et C ont été déterminées en fonction du temps d'exposition à l'eau. En effet, le décalage fréquentiel observé est associé à une variation de ϵ_{eff} et par suite de L et de C .

Comme le montre la figure 3(a), une deuxième application est considérée en intégrant deux résonateurs dans du mortier. Le principal intérêt de l'utilisation de deux résonateurs est de pouvoir déterminer l'endroit où s'effectue la diffusion de l'eau. Pour cela, ils possèdent des longueurs et donc des fréquences de résonances différentes.

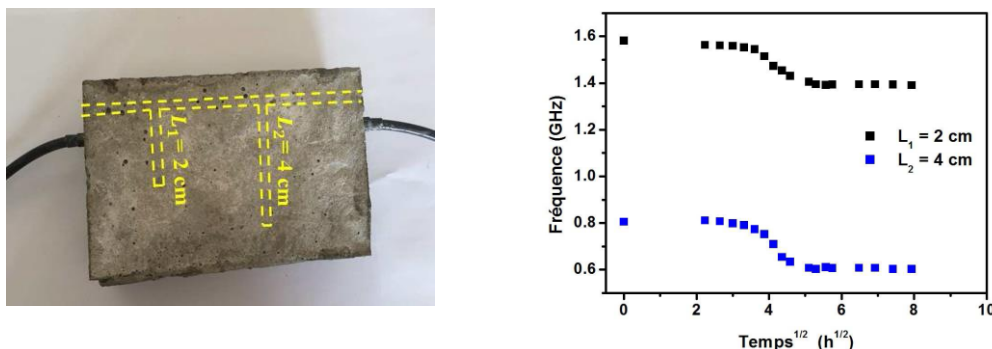


Fig.3. a) Bloc de mortier avec les deux résonateurs et b) Décalages fréquentiels observés lors de la diffusion de l'eau dans le mortier.

La figure 3 (b) présente la diffusion de l'eau dans le mortier de façon uniforme sur l'ensemble de sa surface. Dans ce cas, comme le montre la figure 3(b), les deux résonateurs réagissent en même temps. Des décalages fréquentiels allant de 1.564 GHz à 1.39 GHz pour le stub de longueur $L_2 = 2$ cm, et de 0.808 GHz à 0.637 GHz pour le stub de longueur $L_2 = 4$ cm sont observés.

Le résonateur décrit ci-dessus a été ensuite intégré dans un capteur incluant des antennes émettrices et réceptrices. Les antennes utilisées sont des antennes patch fonctionnant dans la bande ISM 2.45 GHz et réalisées par la technique de photolithographie classique. Le facteur clé dans la réalisation d'un tel capteur est le niveau d'isolation entre les signaux TX et RX du lecteur. Pour cela, les antennes RX et TX sont placées en polarisation croisées. L'ensemble des résultats sera présenté à la conférence. Une discussion sur la distance de lecture et sur la sensibilité de tels capteurs sera menée.

4. Conclusion

En conclusion, l'étude réalisée concerne le développement de dispositifs comprenant un ou plusieurs résonateurs RF et permettant le contrôle de la diffusion de l'eau au sein de matériaux diélectriques à travers la variation de leur fréquence de résonance. Les effets associés à la diffusion de l'eau au sein des revêtements organiques comme l'hydrolyse du polymère ont été mis en évidence. L'intégration de ce résonateur comme élément sensible au sein de capteurs basés sur la technologie RFID peut être envisagée. L'avantage de la méthode proposée par rapport à celles qui existent déjà, réside également dans sa capacité à mesurer les propriétés diélectriques des matériaux sans avoir recours à des instruments et électrodes externes supplémentaires.

Références :

- [1] R. Suwalak et al. « Determination of dielectric property of construction material product », Progress In Electromagnetics Research, vol.130, pp.601–617 (2012).
- [2] M. Yasri, B. Lescop, E. Diler, F. Gallée, D. Thierry and S. Rioual, Passive Wireless Sensor for Atmospheric Corrosion Monitoring, EUCAP, IEEE 2945-2949 (2014)
- [3] S. Preradovic and N. C. Karmakar, "Design of fully printable planar chipless RFID transponder with 35-bit data capacity", in European Microwave Conference, (2009), 013–016.