
Influence du séchage en conditions ambiantes sur les mesures électriques de mortiers fibrés

Duplan François¹, Payan Cédric², Clerc Jean-Pierre¹, Burtschell Yves¹

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, IUSTI UMR 7343, 13453, Marseille, France

² Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR 7031, 13453, Marseille, France

RÉSUMÉ. La mesure de l'impédance électrique d'un matériau cimentaire peut permettre d'évaluer sa prise [KUS 2016], sa teneur en eau [CAR 1989], mais aussi son endommagement [PEL 2001] ou sa contrainte mécanique [CHE 1993][FU 1997] en présence de fibres conductrices. La relation entre impédance électrique et contrainte mécanique présente un potentiel intéressant, mais la sensibilité de l'impédance à l'humidité peut causer un manque de fiabilité des mesures. Cette étude a permis d'identifier des plages de fréquence auxquelles certaines formulations spécifiques de mortiers fibrés sont très peu sensibles aux variations de teneur en eau, ce qui pourrait permettre une fiabilité des mesures électriques suffisante pour des applications de Structural Health Monitoring.

ABSTRACT. Electrical measures allow to monitor cement paste, mortars and concrete regarding their hydration [KUS 2016], their moisture content [CAR 1989], their damage [PEL 2001] and, in presence of conductive fibres, their stress and/or strain [CHE 1993] [FU 1997]. The relation between mechanical strain and electrical impedance offers a very interesting potential for structural health monitoring, but the sensibility to moisture content is problematic since it may cause unreliable results. This study demonstrates that for some specific mixture designs, there is a measuring frequency range with a very limited sensibility to water content, thus enhancing the reliability of electrical measures. This frequency range should be recommended for Structural Health Monitoring.

MOTS-CLÉS : mortier, fibres de carbone, mesures électriques, monitoring, séchage

KEY WORDS : mortar, carbon fibres, electrical measures, monitoring, drying

1. Introduction

Le smart concrete a été découvert en 1993 [CHE 1993]. Le concept est assez simple : un matériau cimentaire « classique » (coulis de ciment ; mortier ; béton) est renforcé de fibres conductrices présentant une géométrie spécifique grâce à laquelle elles créent un réseau conducteur dans la matrice cimentaire [WEN 2007]. De manière générale, l'addition des fibres conductrices a deux conséquences simultanées sur les propriétés électriques du matériau :

- la résistivité électrique diminue de plusieurs ordres de grandeur (jusqu'à 10^5 avec percolation des fibres) ;
- le matériau a un comportement piézo-résistif : ses propriétés électriques varient avec les déformations mécaniques du matériau ; cette variation est d'abord linéaire dans le domaine élastique du matériau, puis non linéaire.

A cause du séchage et d'une éventuelle exposition aux conditions climatiques, la teneur en eau d'un mortier est amenée à varier dans le temps, entraînant ainsi des fluctuations des propriétés électriques. L'exploitation des mesures électriques de ces mortiers fibrés à des fins de monitoring doit donc s'affranchir de ces fluctuations.

2. Procédures expérimentales

Les matériaux suivants ont été utilisés : ciment CEM I 52.5 N ; sable siliceux 0/2 mm ; super-plastifiant Master Glenium 550 ; fibres de carbone. La distribution granulométrique du sable est donnée dans le Tableau 1 :

Tableau 1 - Distribution granulométrique du sable

Diamètre (mm)	0.065	0.13	0.25	0.5	1	2
Passant (%)	2	4	18	33	96	98

Les propriétés des fibres de carbone sont données dans le Tableau 2 :

Tableau 2 - Propriétés des fibres de carbone

Diamètre	Longueur	Module él.	Rés. tract°	Masse vol.	Résistivité	Coating
7 μ m	6 mm	240 GPa	4 500 MPa	1 800 kg/m ³	1.4 10^E-6 Ω .m	3.8 %

Deux compositions de mortiers avec des fractions volumiques de sable de 60 et 40 %, ont été choisies, car la percolation de la pâte de ciment a une très forte influence sur la résistivité électrique du mortier fibré [WEN 2007]. Le rapport E/C est de 0,4 pour les deux mortiers. Les fractions volumiques de fibres étudiées ont été :

- 0 ; 0,5 et 1 % pour les mortiers avec une fraction volumique de sable de 60 % ;
- 0 ; 0,05 et 0,2 % pour les mortiers avec une fraction volumique de sable de 40 %.

Grâce à une étude précédente [DUP 2016], les valeurs intermédiaires des fractions volumiques de fibres sont en dessous du seuil de percolation, tandis que les valeurs les plus élevées seront au-dessus de ce dernier.

La séquence de malaxage suivante a été choisie : dans un premier temps, sable et ciment sont mélangés à sec (d30 secondes) ; ensuite, eau et super-plastifiant sont incorporés (1 minute) ; enfin, les fibres sont introduites durant le malaxage (1,5 minute).

3. Résultats

3.1. Mortiers sans fibre

Les Figure 1 et Figure 2 montrent les diagrammes des parties réelles et imaginaires de l'impédance à différentes échéances de séchage pour les mortiers sans fibres avec des fractions volumiques de sable de 60 et 40 % respectivement. Au fur à mesure que le matériau sèche dans les conditions ambiantes (env. 20°C et 50 % H.R), la teneur en eau de la porosité capillaire diminue et l'impédance augmente, que ce soit pour la partie réelle ou imaginaire, et pour toute la plage de fréquences étudiée.

3.2. Mortiers avec réseau de fibres non percolé

Les Figure 3 et Figure 4 montrent les diagrammes des parties réelles et imaginaires de l'impédance de deux mortiers :

- le premier avec des fractions volumiques de sable et de fibres respectives de 60 et 0.5 % ;
- le second avec des fractions volumiques de sable et de fibres respectives de 40 et 0.05 %.

De la même manière que pour les mortiers sans fibres, le séchage induit une augmentation systématique de l'impédance pour la partie réelle et la partie imaginaire, et pour toute la gamme de fréquences étudiées. L'ajout des fibres a donc diminué les valeurs d'impédance, mais n'a pas modifié l'impact du séchage sur les propriétés électriques. Aussi, les deux mortiers présentent des valeurs d'impédance similaires, alors que le premier comporte une fraction volumique 10 fois supérieure au second.

3.3. Mortiers avec réseau de fibres non percolé

Les Figure 5 et Figure 6 montrent les diagrammes des parties réelles et imaginaires de l'impédance de deux mortiers :

- le premier avec des fractions volumiques de sable et de fibres respectives de 60 et 1 % ;
- le second avec des fractions volumiques de sable et de fibres respectives de 40 et 0.2 %.

Contrairement aux formulations précédentes, on remarque ici que l'influence du séchage sur les propriétés électriques a été modifiée par la présence des fibres pour les deux mortiers. Pour les basses fréquences (10^E1 - 10^E3 Hz), la partie réelle de l'impédance diminue durant le séchage, et le contraire pour les hautes fréquences (10^E3 - 10^E6 Hz). Pour des fréquences d'environ 2 kHz, le séchage a un impact très limité sur la partie réelle de l'impédance pour les deux mortiers. On retrouve le même phénomène pour la partie imaginaire de l'impédance, mais avec des plages de fréquence différentes : la limite entre basses et hautes fréquences se situe à environ 100 kHz.

Enfin, on note que les diagrammes d'impédance présentent des valeurs similaires pour les deux mortiers alors que les fractions volumiques de fibres sont 5 fois plus importantes pour le premier mortier, ce qui confirme l'observation du précédent paragraphe sur la non-percolation de la pâte de ciment.

4. Conclusion

- La percolation du réseau conducteur de fibres conductrices permet de modifier l'influence du séchage sur les propriétés électriques du béton. En effet, en présence d'un réseau conducteur percolé, un mortier fibré présente une plage de fréquences de mesure très restreinte (voire une fréquence unique) pour laquelle l'influence du séchage sur les propriétés électriques est quasi-nulle. Ceci est vrai pour les parties réelles et imaginaires de l'impédance, mais à des fréquences différentes : 2 et 100 kHz, respectivement.
- La fraction volumique de sable présente dans le mortier a un impact sur le seuil de percolation des fibres conductrices :
 - avec une fraction volumique de sable de 60 %, le seuil de percolation est entre 0.5 et 1% ;
 - avec une fraction volumique de sable de 40 %, le seuil de percolation est entre 0.05 et 0.2%.

5. Références

- [CAR 1989] Mc Carter, W.J, Garvin, S., Dependence of electrical impedance of cement-based materials on their moisture condition, *Journal of Physics – Applied Physics*, vol. 22, 1989
- [CHE 1993] P. Chen, D. Chung, Carbon fiber reinforced concrete for smart structures capable of non-destructive flaw detection, *Smart materials and structures*, vol. 2, 1993, p.22-30
- [DUP 2016] Duplan, F., Burtshell, Y., Vandewalle, L. Influence des granulats et des fibres sur les propriétés mécaniques et électriques des mortiers de fibres de carbone , *RUGC 2016*, Liège, Belgique
- [KUS 2016] Kusak, I, Lunal, M, Chobola,, Z. Monitoring of Concrete Hydration by Electrical Measurement Methods, *Procedia Engineering*, vol. 151, 2016, p. 271-276
- [FU 1997] X. Fu, E. Ma, D. Chung,W. Anderson, Self-monitoring in carbon fiber rein forced mortar by reactance measurement, *Cement and Concrete Research*, vol. 27 (6) (1997) 845{852.
- [PEL 2001] Peled, A., Torrents, J.M, Mason, T.O, Sah, S., Garboczi, E.J, Electrical Impedance Spectra to Monitor Damage During Tensile Loading of Cement Composites, *ACI Materials Journal*, vol. 98, n°4, 2001, p.313-324
- [WEN 2007] Wen, S., Chung, D.D.L, Double percolation in the electrical conduction in carbon fiber reinforced cement-based materials, *Carbon*, vol.45 n°2, 2007, p. 263-267

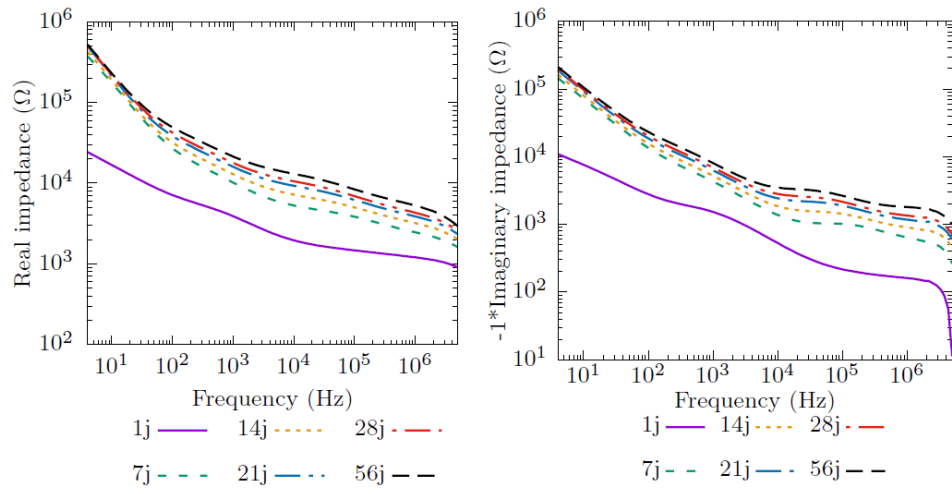


Figure 1 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 60 % sable & 0 % fibres

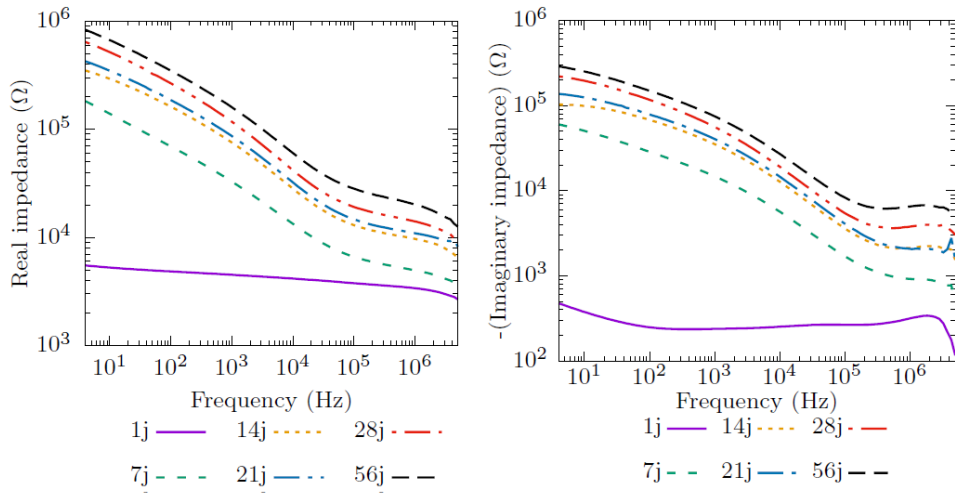


Figure 2 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 40 % sable & 0 % fibres

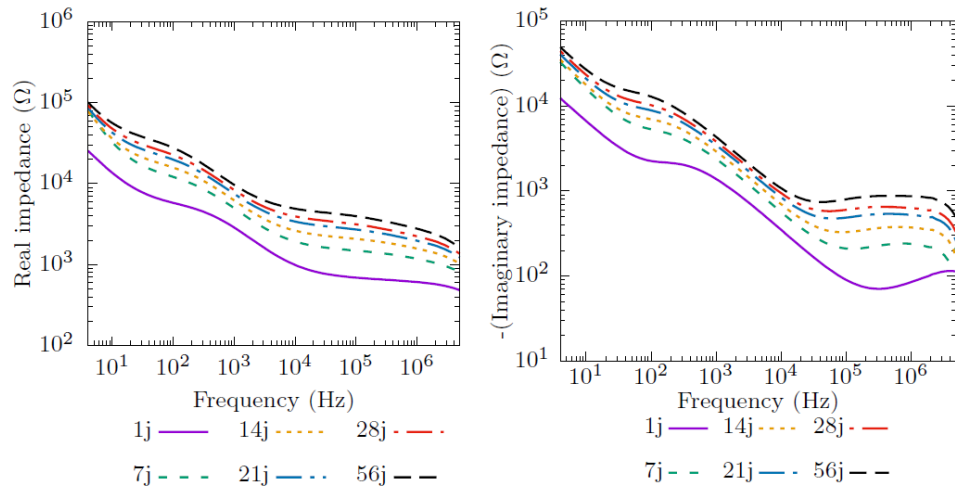


Figure 3 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 60 % sable & 0,5 % fibres

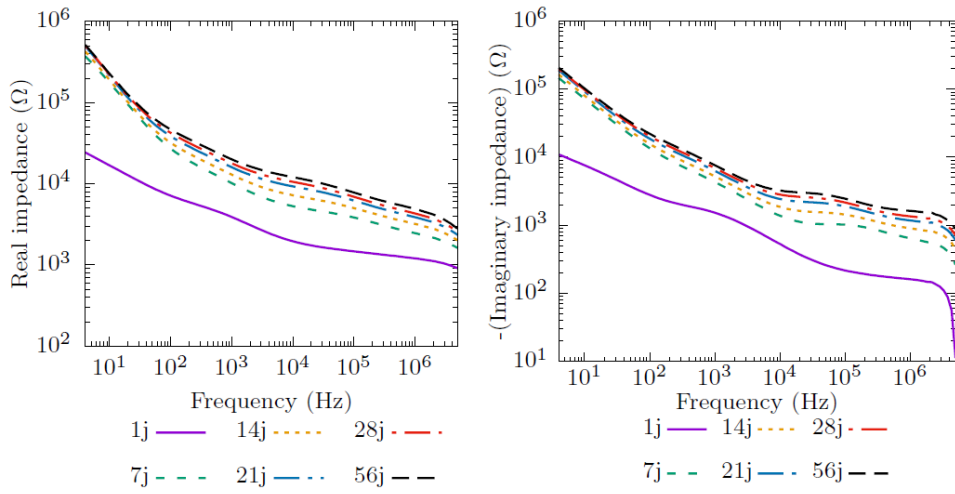


Figure 4 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 40 % sable & 0,05 % fibres

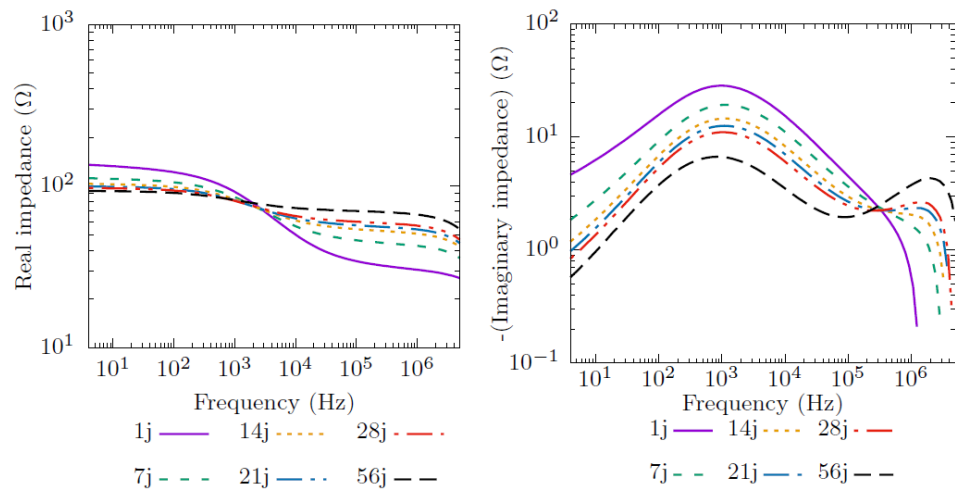


Figure 5 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 60 % sable & 1 % fibres

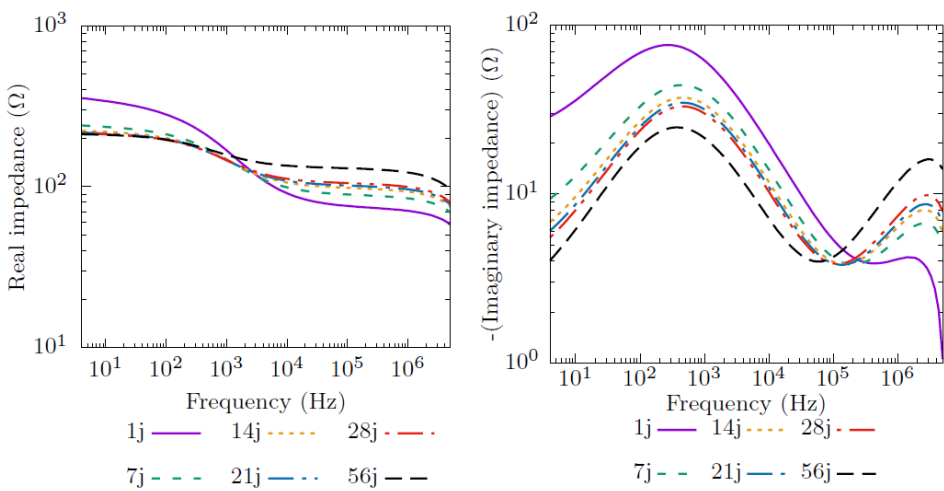


Figure 6 - Influence du séchage sur l'impédance - mortier 40 % sable & 0,2 % fibres