

Caractérisation expérimentale d'un béton contenant des différentes inclusions par les méthodes électriques

[Experimental characterisation of concrete containing different inclusions by electrical methods]

Mohamed Abdelhafid Bouhamla¹ and Ahmed Beroual²

¹University Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi, Algeria

²University Mentouri Constantine 1, Algeria

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper aimed at the experimental characterization of a two- phase composite material namely concrete containing different kind of inclusions by measuring the electric resistivity and the dielectric constant. The model of composite consists of cylindrical samples of concrete in which are introduced different types of cylindrical inclusions. Later are embedded in the centre of the host matrix. The measurements are achieved thanks to an impedance-meter. The effective dielectric constant and resistivity characteristics are investigated versus the concentration and the type of inclusions. The inclusions we consider are cavities (air), cavities filled with water. It's shown that the effective dielectric constant of composite material increases with the water content while the effective resistivity decreases due to the fact that the dielectric constant of water is too higher than that of concrete and the resistivity of water is lower than that of concrete. While the dielectric constant of concrete decrease when increasing the concentration of cavities; the resistivity of heterostructure increases with the concentration of air. This technique can constitute a good tool to follow, for instance, the humidification or the drying of a given heterostructure.

KEYWORDS: dielectric constant, resistivity, voids, water content, inclusions.

RESUME: L'objectif de ce travail est de caractériser des matériaux de construction constitués de matrices homogènes à trois dimensions (matrice hôte) et d'inclusions diélectriques ou conductrices en utilisant une méthode non destructive. Cette méthode rallie deux méthodes: l'une diélectrique et l'autre électrique.

Il s'agit particulièrement d'évaluer la présence d'inclusions, leurs concentrations et leur nature dans une structure donnée.

Les échantillons considérés sont constitués de béton en forme de cylindre, contenant des inclusions d'air, d'eau.

Il ressort de cette étude expérimentale sur un échantillon de béton avec différents types d'inclusion (eau, air) que les caractéristiques donnant la constante diélectrique et la résistivité diélectrique effectives des hétérostructures constituent des outils de grande importance pour différencier le type d'inclusions connaissant la matrice mère. En effet, les caractéristiques de la constante diélectrique et de la résistivité électrique évoluent en fonction de la concentration volumique des inclusions et de leur nature. Ainsi, Il est possible, par exemple, grâce à ces caractéristiques, de suivre l'humidification ou le séchage du béton. Ce résultat peut être appliqué à tout autre type de matériaux (argile ...). Il est également possible de distinguer entre les différents types d'inclusions (eau, acier...).

Notons également que pour toutes les structures étudiées, il existe une corrélation entre la constante diélectrique et la résistivité effective.

MOTS-CLEFS: permittivité, résistivité, air, eau contenue, inclusions.

1 INTRODUCTION

La détection des cavités (porosité et fissures) et des teneurs en eau d'un milieu donné ou de toute hétérostructure constituée d'une matrice hôte contenant différents types et concentrations d'inclusions (acier, verre...) présente un grand intérêt pour différents domaines d'application parmi lesquels le civil ingénieur. Il permet d'évaluer la capacité du milieu à absorber de l'eau (ou d'autres fluides), ou de mettre en évidence la présence de cavités et / ou de fluides, ou d'évaluer sa résistance à des contraintes données. Ainsi, selon l'application, on peut par exemple mettre en évidence la présence d'eau dans un site donné ou apprécier le degré de pénétration de l'humidité et de là la qualité et / ou le vieillissement des hétérostructures telles que le béton de structure. Aussi, la connaissance de la présence de fissures, de leur taille et de leur concentration pourrait nous renseigner sur la fragilité des hétérostructures (bâtiment, dalles, poutres, piliers, ...) résultant de différentes contraintes telles qu'un échauffement excessif ou des tremblements de terre, ou dues à environnements chimiques hostiles ou à un mauvais dosage des matériaux de construction.

Différentes méthodes sont utilisées pour évaluer la teneur en eau dans un milieu donné. On peut citer la méthode thermique¹, les méthodes nucléaires², la méthode basée sur la mesure de la résistivité dite "méthode électrique"^{3,4,5} et les méthodes basées sur la mesure de la constante diélectrique dites "méthodes diélectriques"^{6,7,8}.

Au cours de la dernière décennie, des méthodes non destructives utilisant un radar à bande ultra large ont été développées pour visualiser les variations des fissures, des vides et des barres d'armature dans le béton et pour déterminer les propriétés structurelles^{9,10}.

Ces méthodes permettent, par la mesure de la propriété diélectrique, d'évaluer la performance du béton de ciment ou de nouveaux matériaux de construction, comme le béton polymère développé pour réduire le coût élevé de réhabilitation du béton de structure^{11; 12}.

Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale consistant à caractériser un matériau composite diphasique à savoir, du béton originaire d'une région spécifique d'Algérie, contenant différents types d'inclusions en mesurant la résistivité électrique (ϵ) et la constante diélectrique (ρ). Les inclusions que nous considérons sont des cavités, des cavités remplies d'eau.

2 TECHNIQUE EXPÉRIMENTAL

Ce travail est consacré à la caractérisation d'échantillons constitués d'une matrice (hôte) en béton de 4 cm de diamètre et 3cm de hauteur dont le rapport E/C=0.5; La figure (1) montre l'échantillon avec une inclusion séchés dans un four à 110° C pendant 24 H et contenant plusieurs types d'inclusions, en utilisant une méthode basée sur la mesure de la permittivité diélectrique et de la résistivité électrique effectives. Deux types d'inclusions sont considérés :

- Diélectriques : air
- Conductrices : eau

Ces inclusions sont de concentrations connues mais différentes.

La permittivité effective et la résistivité effective sont mesurées pour chaque matrice avec son inclusion pour différentes concentrations de cette dernière et pour différentes fréquences. Il s'agit donc d'analyser la variation de ces deux paramètres caractéristiques (permittivité et résistivité) en fonction de la concentration des inclusions et de la fréquence. Les résultats des mesures sont traduits par des courbes. Nous en déduisons comment différencier les différentes hétérostructures ainsi que les champs d'applications de cette méthode.

Les essais sont effectués avec un impédance-mètre du type: HEWLETT PACKARD - 4284A - 20 Hz à 1MHz. Le système de mesure est constitué de deux électrodes carrées en cuivre de 40 mm de côté. Un ressort est placé sur l'électrode supérieure pour assurer un bon contact entre les électrodes et l'échantillon; ceci permet d'éviter les capacités parasites induites par la présence d'interstices entre l'échantillon et les électrodes. La figure (2) donne une vue schématique du système de mesure.

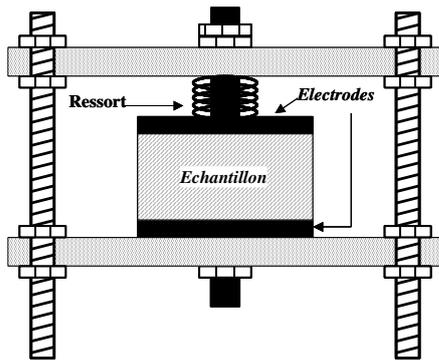


Fig. 1. Schéma du dispositif de mesure

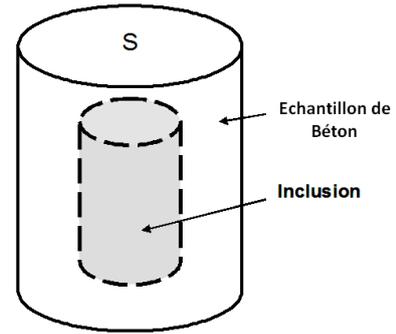


Fig. 2. Echantillon avec inclusion

La permittivité effective ϵ_e et la résistivité effective ρ_e sont déduites par la suite à partir des formules suivantes:

$$\epsilon_e = \frac{C_p}{C_0} \quad C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{h} \quad \rho_e = \frac{R_p \cdot S}{h}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m (la permittivité du vide)

h: est la hauteur de l'échantillon

S: est la section effective de l'électrode du dispositif

Les mesures sont effectuées à température ambiante.

3 RÉSULTATS EXPÉRIMENTAL

3.1 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION D'EAU SUR LA CONSTANTE DIELECTRIQUE ET LA RESISTIVITE

Ces résultats sont d'une importance fondamentale pour la caractérisation des matériaux composites. Les caractéristiques donnant la constante diélectrique et la résistivité effective constituent un outil permettant de suivre le taux d'humidité du béton. On peut ainsi suivre l'humidification béton lorsque la permittivité effective augmente et la résistivité diminue ou encore le séchage lorsque la constante diélectrique diminue ou que la résistivité augmente. On peut se servir de cette technique pour suivre le gonflement d'un sol par exemple ou l'infiltration d'eau dans des structures.

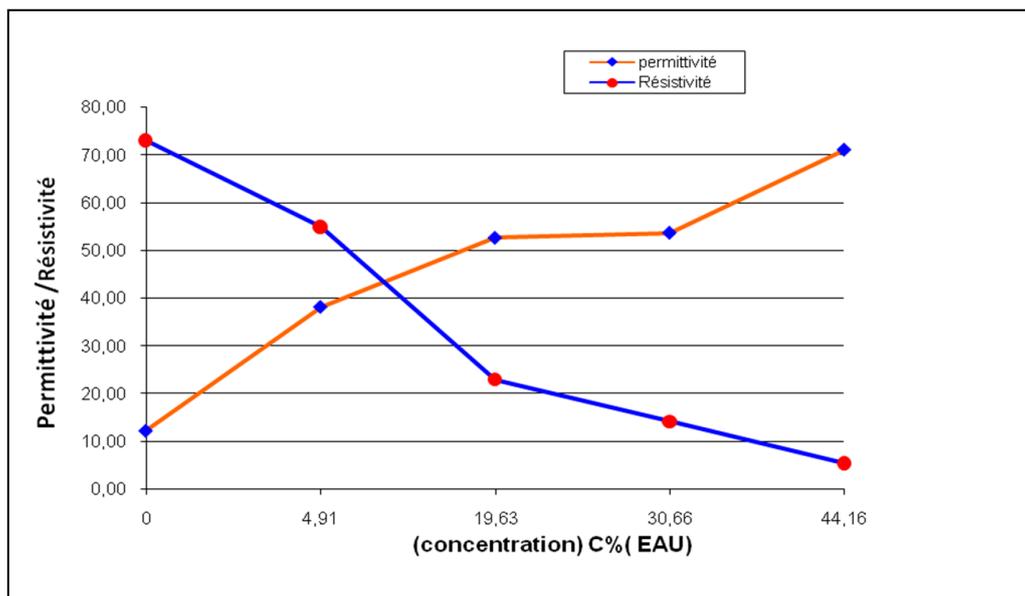


Fig. 3. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'eau à 100 kHz

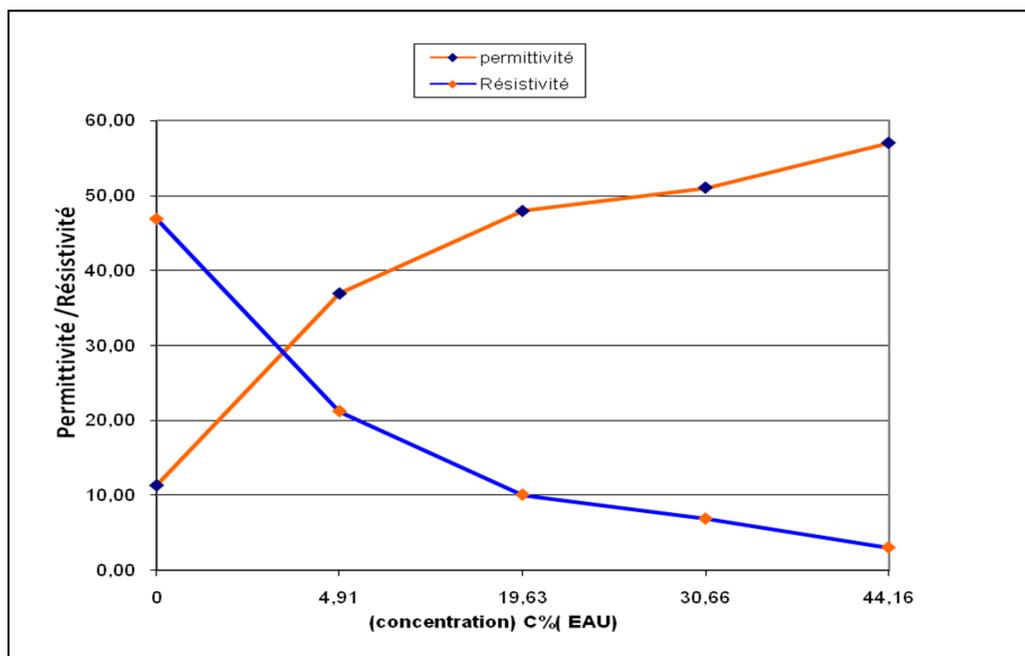


Fig. 4. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'eau à 200 kHz

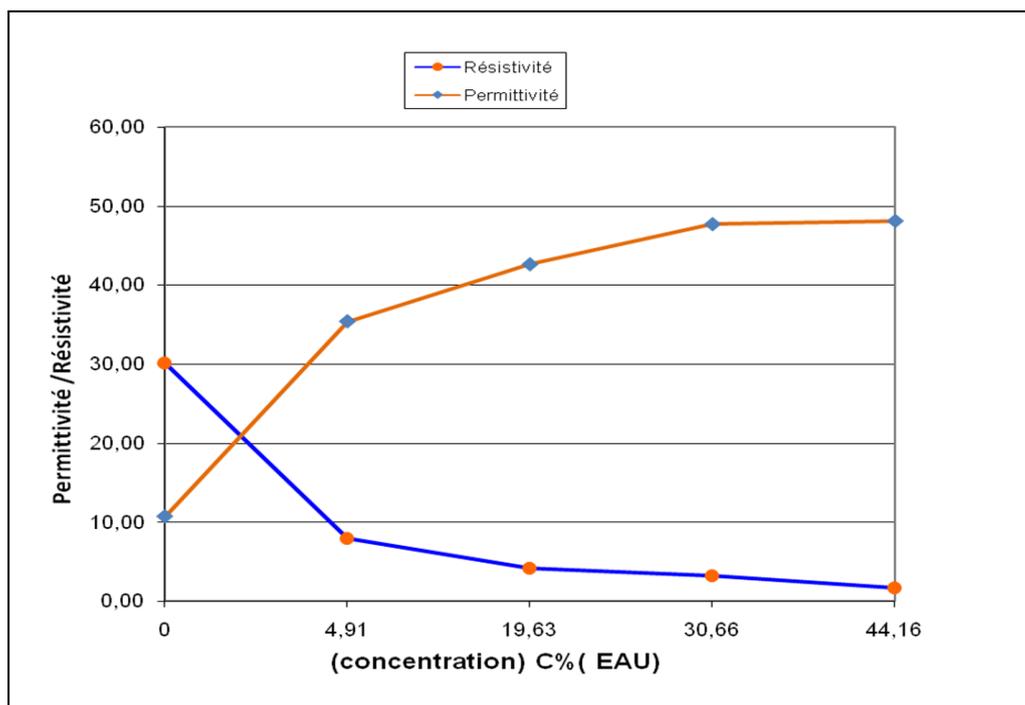


Fig. 5. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'eau à 400 kHz

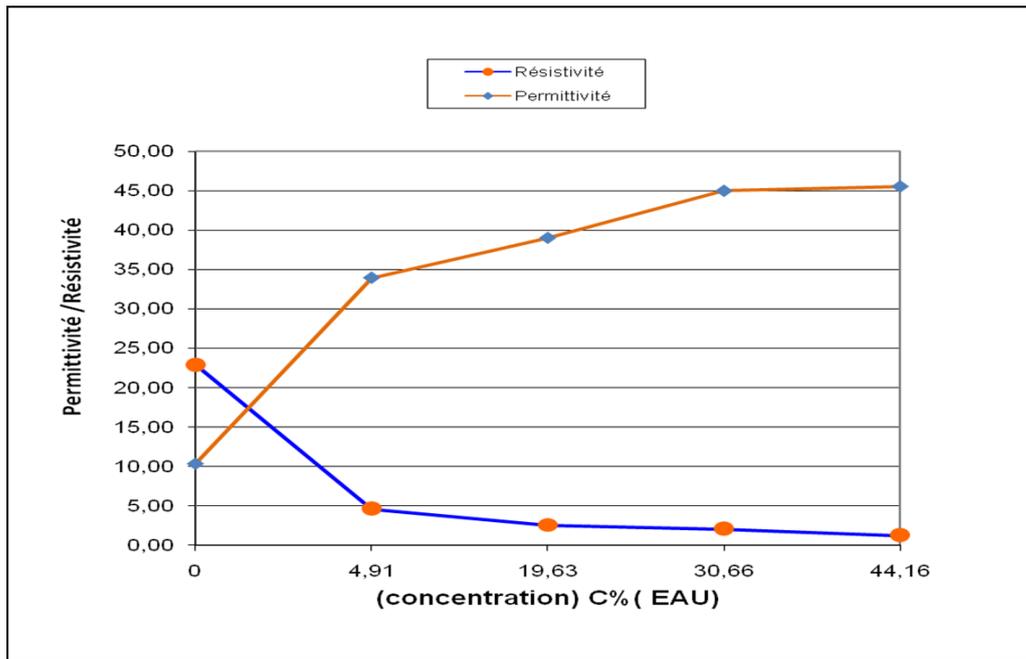


Fig. 6. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'eau à 600 kHz

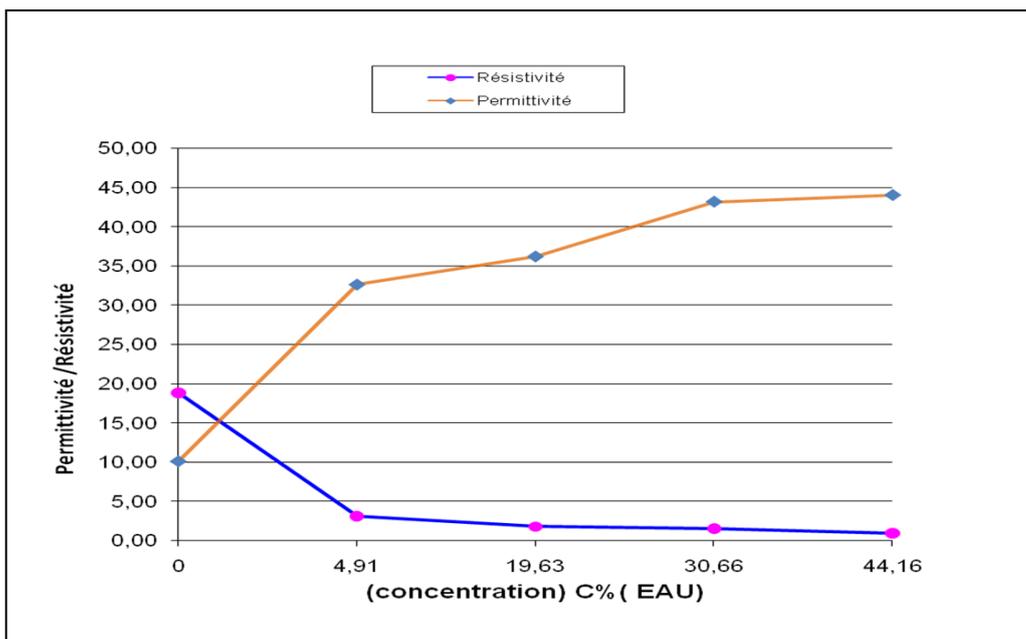


Fig. 7. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'eau à 800 kHz

Notons que la constante diélectrique et la résistivité effectives diminuent avec l'augmentation de la fréquence (Figures 6 et 7). Pour une concentration d'inclusions donnée, l'effet de la fréquence est plus marqué à basse fréquence.

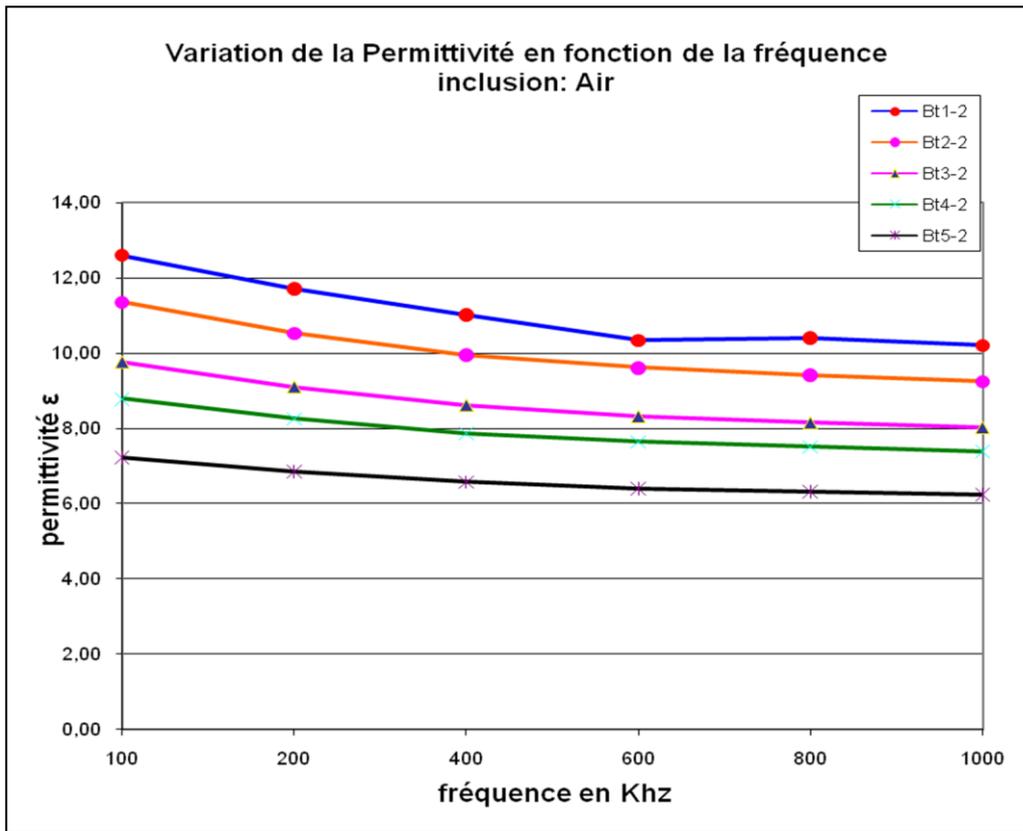


Fig. 8. Variation de la permittivité effective en fonction de la fréquence (fr) avec des inclusions remplies d'eau

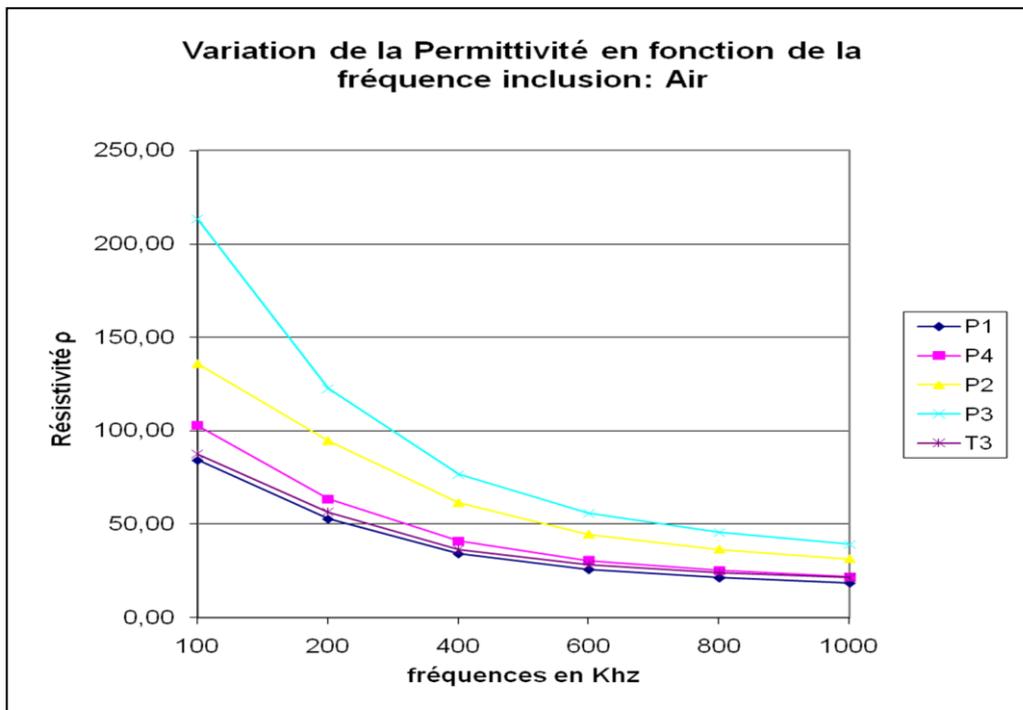


Fig. 9. Variation de la résistivité en fonction de la fréquence (fr) avec des inclusions remplies d'air

3.2 INFLUENCE DES CAVITES D’AIR SUR LA CONSTANTE DIELECTRIQUE ET LA RESISTIVITE

La mise en évidence de cavités et de leur volume apparent (total) peut se faire à travers la mesure de la constante diélectrique et de la résistivité effective. Contrairement au cas précédent où les inclusions étaient constituées d’eau, la constante diélectrique effective du béton contenant des cavités (inclusions remplies d’air), diminue lorsque la concentration (volume) d’air augmente vu que la constante diélectrique de l’air est beaucoup plus faible que celle du béton, quelle que soit la fréquence (Figures 8 à 12). D’autre part, l’air étant un très bon isolant, sa résistivité est très élevée par rapport à celle du béton. La résistivité de l’hétérostructure augmente avec la concentration d’air comme le montre les figures 8 et 12.

Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d’air à 200kHz

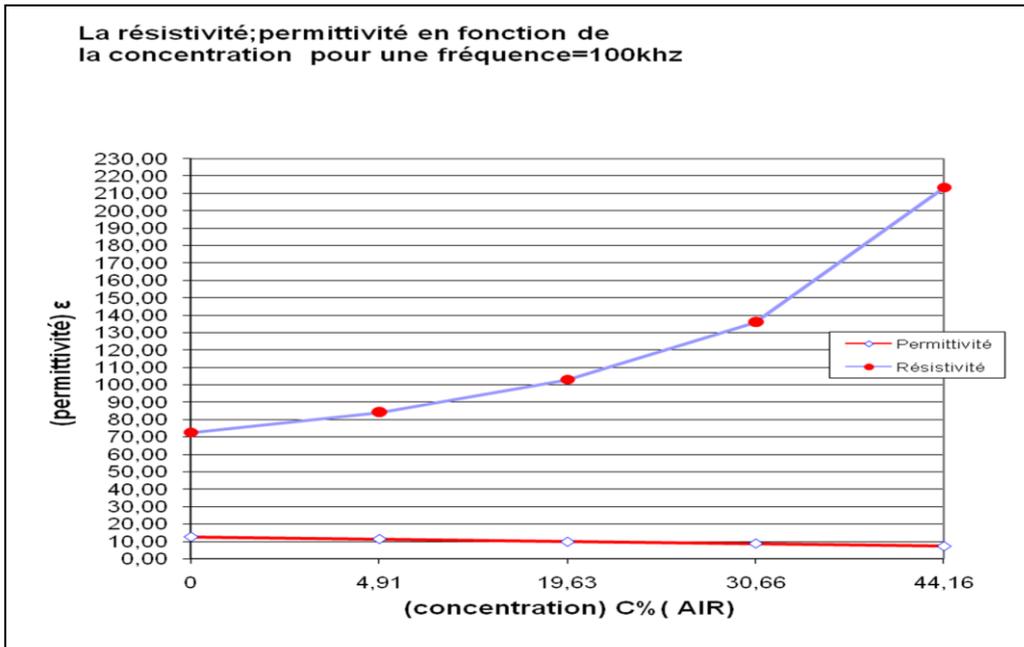


Fig. 10. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d’air à 100kHz

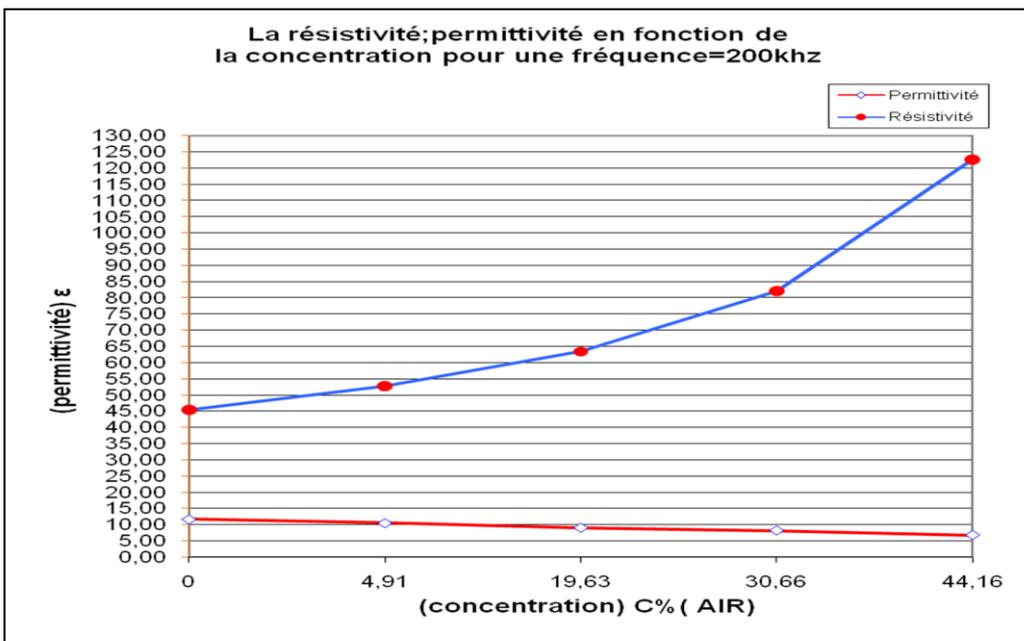


Fig. 11. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d’air à 200kHz

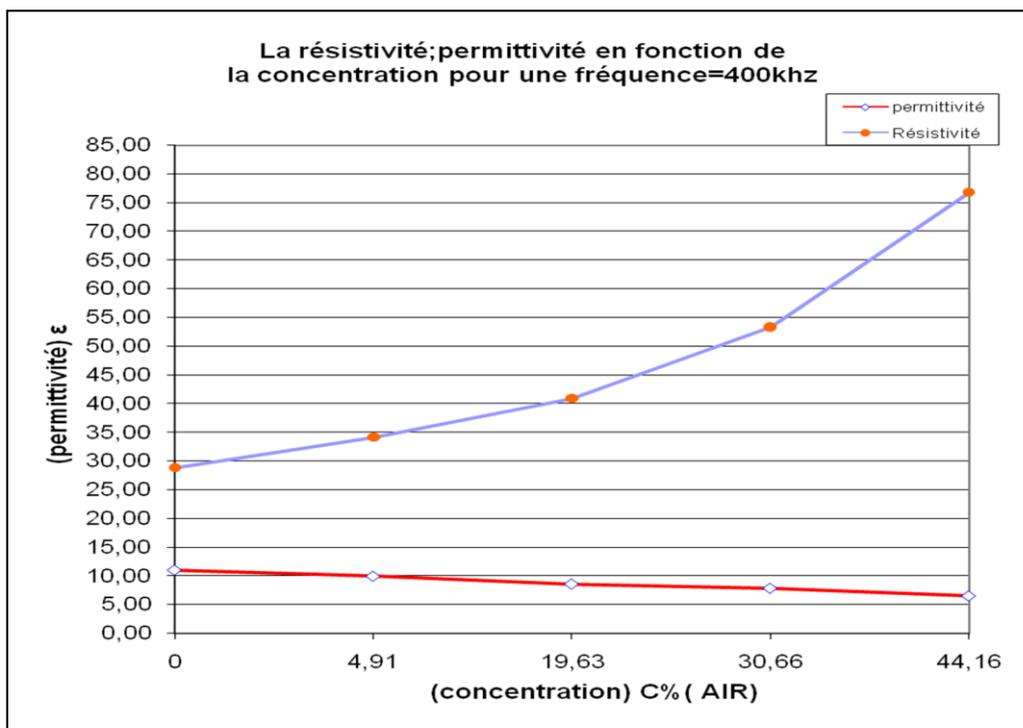


Fig. 12. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'air à 400kHz

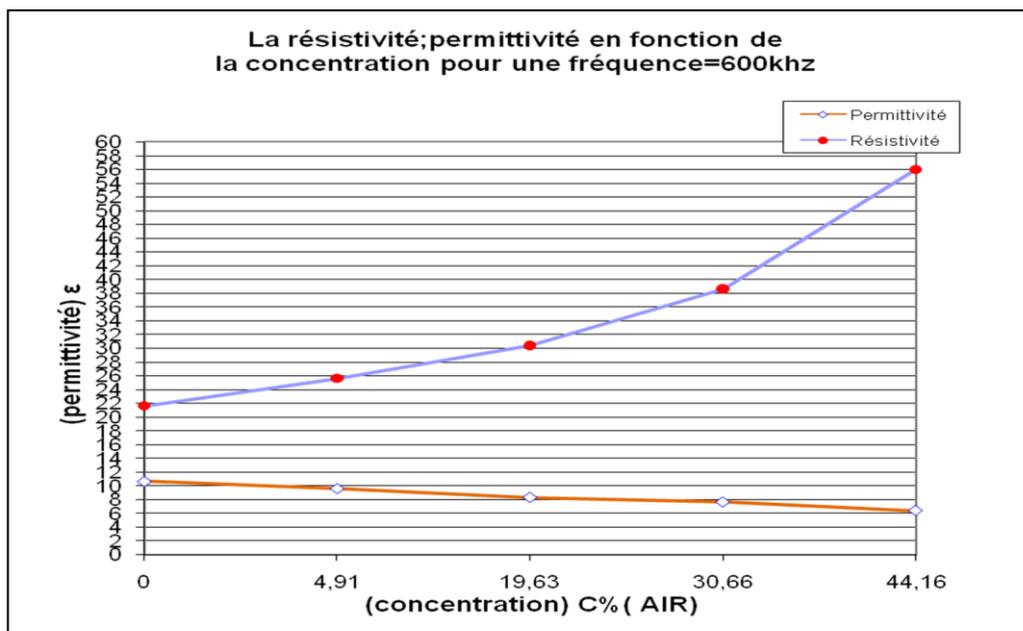


Fig. 13. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'air à 600kHz

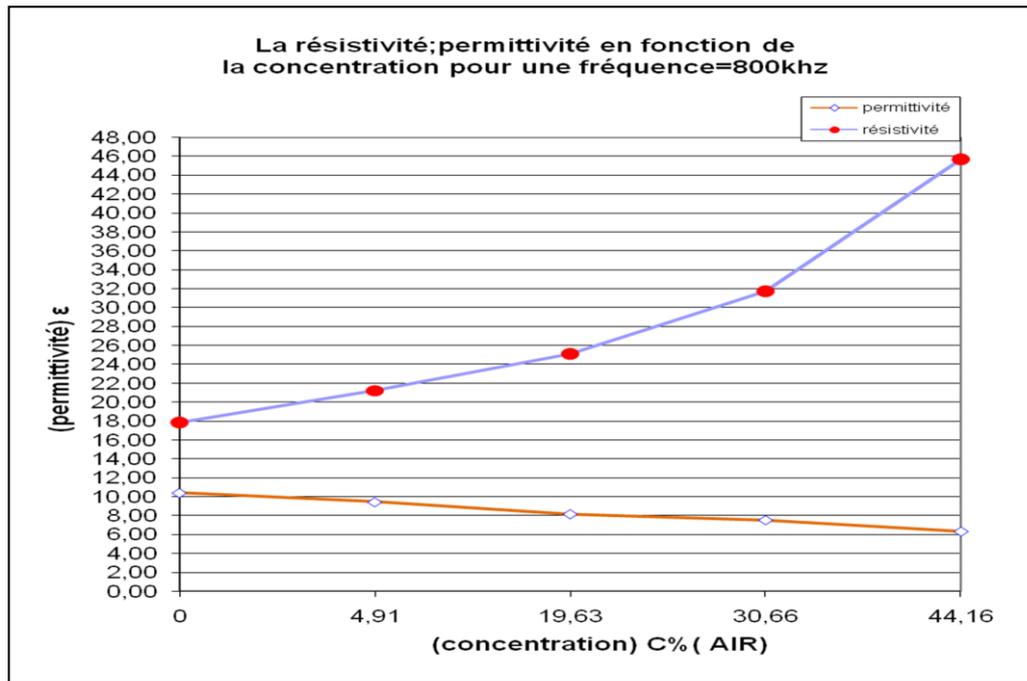


Fig. 14. Variation de la permittivité/résistivité effectives en fonction de la concentration C% d'air à 800kHz

4 CONCLUSION

Il ressort de cette étude expérimentale sur le béton avec différents types d'inclusion (eau, air...) que les caractéristiques donnant la constante diélectrique et la résistivité électrique effectives des hétérostructures constituent des outils de grande importance pour différencier le type d'inclusions connaissant la matrice mère. Il est possible, grâce à ces caractéristiques, de suivre l'humidification ou le séchage du béton. Ce résultat peut être appliqué à tout autre type de matériaux (argile ...). Il est également possible de distinguer entre les différents types d'inclusions (eau, acier...).

Notons également que pour toutes les structures étudiées, il existe une corrélation entre la constante diélectrique et la résistivité effective: quand la constante diélectrique augmente, la résistivité diminue et vis versa.

REFERENCES

- [1] Pekonen, O., Kärkkäinen, K. K., Sihvola, A. H., and Nikoskinen, K. I., 1999. "Numerical testing of dielectric mixing rules by FDTD method", *J. Electromagn. Waves Applicat.*, vol. 13, pp.67-87.
- [2] Pincet, B., Méline, D., and Auriol, J. 1993. Measurement of the moisture content variation in non saturated, compacted clays, *Geoconfine 93*, Arnould, Barrès and Côme (eds).
- [3] Baron, J.P. 1987. La mesure de la teneur en eau par les méthodes nucléaires, *Journées de Physique. L.C.P.C.*, pp.151-156.
- [4] Tumidajski, P.J., Schumacher, A.S., Perron, S., Gu, P., and Beaudoin, J.J., 1996. On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 4, pp. 539-544.
- [5] Tumidajski, P.J., 1996. Electrical conductivity of Portland cement mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 4, pp. 529-534.
- [6] Xu, Z., Gu, P., Xie, P., and Beaudoin, J.J., 1993. Application of A.C. impedance techniques in studies of porous cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, pp. 1007-1015.
- [7] Davis, J.L., and Chudobiak, W.J., 1975. In situ method for measuring relative permittivity of soils, *Geological Survey of Canada, Ottawa*, paper 75-1, A, pp.75-79.
- [8] Topp, G.C., Davis, J.L., and Annan, A.P. 1982. Electromagnetic determination of soil water content using T.D.R. Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines, *Soil Science Society of America. Journal*, Vol. 46.
- [9] Topp, G.C., and Davis, J.L., 1985. Measurement of soil water content using T.D.R.: a field evaluation, *Soil Science Society of America. Journal*, Vol. 49.
- [10] Buyukozturk, O., and Rhim, H.C., 1997. Radar Imaging of concrete specimens for nondestructive testing, *Construction and Building Materials*, Vol. 11, N° 3, pp. 195-198.
- [11] Rhim, H.C., and Buyukozturk, O., 1998. Electromagnetic properties of concrete at microwave frequency range, *ACI Materials Journal*, Vol. 95, N° 3, pp. 262-271.
- [12] Beroual A., and Houari H, 2005. Impedance representation of two phase composite materials and experimental modeling. *Revue de l'université Mentouri Constantine. Algeria*. N°23, pp.22-33.