

Mesure de la variation de la résistance électrique du béton par pont de Wheatstone : application au suivi de la fissuration

Teuku FERDIANSYAH¹, Jean-Paul BALAYSSAC¹, Anaclet TURATSINZE¹

¹Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, INSA, UPS, France

RESUME Cet article présente le développement d'une technique de suivi de la propagation d'une fissure basée sur la mesure de la résistance électrique. Cette technique est utilisée au cours d'un essai sur trois éprouvettes en béton, sollicitées en flexion par un chargement cyclique avec un contrôle de l'ouverture de fissure. Le principe de la technique proposée consiste à mesurer la variation de résistance électrique du béton avec un pont de Wheatstone. L'avantage du pont de Wheatstone, très utilisé en extensométrie par jauges de déformation, réside dans sa capacité à détecter de très faibles variations de résistance électrique. Le capteur de mesure de la résistance électrique est simplement composé de deux disques en inox espacés de 5cm et noyés dans le béton. Le dipôle ainsi constitué est une des branches du pont de Wheatstone. Ce dernier est alimenté avec un courant alternatif dont la tension et la fréquence ont été optimisées pour maximiser la sensibilité du système de mesure. Les résultats montrent que l'ouverture de la fissure mesurée par un capteur LVDT est très bien corrélée à la variation de tension aux bornes du pont de Wheatstone. Les boucles d'hystérésis observées au cours des cycles de chargement et déchargement sont en particulier très bien reproduites par le système de mesure. L'importance de la position du capteur par rapport au chemin de propagation de la fissure est démontrée. La corrélation d'images numériques est également utilisée pour suivre la position du sommet de la fissure en surface de la poutre et les résultats sont comparés à la réponse du système.

Mots-clefs essai cyclique de flexion, ouverture de fissure contrôlée, variable d'endommagement

I. INTRODUCTION

Le suivi de l'ouverture de fissure des ouvrages en béton fait partie des opérations classiques de surveillance. Des moyens sont disponibles et maîtrisés pour réaliser ce suivi sur ouvrages existants uniquement lorsque les fissures sont visibles en surface, avec des capteurs LVDT par exemple. En revanche le suivi d'un endommagement au cœur d'un ouvrage n'est réalisable que si des capteurs ont été noyés pendant la construction. Il existe aujourd'hui des capteurs noyés performants pour ce type de mesure comme les cordes vibrantes ou les fibres optiques (Hénault et al, 2012). Ces techniques éprouvées et en permanente évolution ont l'inconvénient d'être toutefois assez coûteuses car elles nécessitent parfois des moyens d'interrogation assez sophistiqués comme dans le cas des fibres optiques. Il semble donc opportun de réfléchir à de nouveaux capteurs de mise en œuvre simple et peu coûteux. C'est ce que propose cette communication qui décrit un dispositif permettant de suivre la variation de la résistance

électrique du béton consécutive à un endommagement d'origine mécanique en utilisant un pont de Wheatstone. L'avantage du pont de Wheatstone est sa capacité à détecter de très faibles variations de résistance électrique associée à une très bonne robustesse en termes notamment de répétabilité de mesure. L'article présente l'utilisation du dispositif pour suivre l'évolution de la fissuration sur une poutre en béton sollicitée par un essai cyclique de flexion trois points permettant le contrôle de l'ouverture de la fissure. Les résultats démontrent la capacité du dispositif à suivre les mesures d'ouverture de fissure réalisées avec un capteur LVDT, à reproduire les boucles d'hystérésis consécutives à l'ouverture et à la fermeture de la fissure ainsi que la bonne corrélation du signal de sortie du pont avec une variable d'endommagement.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La figure 1 présente le schéma de l'éprouvette utilisée pour l'essai de flexion en précisant la position des électrodes (a) et le principe du Pont de Wheatstone (b). Les électrodes sont des disques de diamètre 50 mm espacés de 50 mm. Deux éprouvettes ont été fabriquées avec une distance d entre le centre des disques et le sommet de l'encoche égale à 5 mm, et une autre avec une distance de 25 mm afin d'analyser l'incidence de la position du dispositif. L'essai est réalisé sur une presse de flexion MTS de capacité 100 kN.

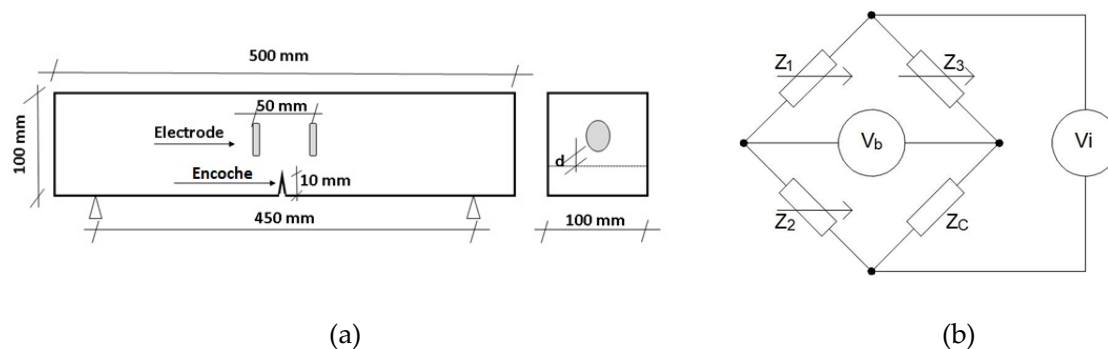


FIGURE 1. schéma du pont de Wheatstone et de l'éprouvette en flexion

Le pont de Wheatstone (Figure 1b) est alimenté sur deux de ses bornes par un courant alternatif V_i de fréquence 10Hz et de tension 10V. Les deux électrodes noyées dans le béton sont connectées à deux bornes du pont. Sous l'application d'un courant alternatif, la réponse du béton mobilise à la fois des effets résistifs et capacitifs qui doivent être décrits par une variation d'impédance Z_c . Les autres branches du pont étant constituées d'impédances maintenues constantes au cours de l'essai, la variation de la tension de sortie V_b est uniquement fonction de la variation d'impédance due à l'endommagement du béton. Au début de l'essai le pont est équilibré en mettant la tension de sortie à zéro en faisant varier les impédances des autres branches.

La figure 2a schématise le programme de chargement utilisé. L'essai est contrôlé en vitesse d'ouverture de fissure CMOD (0.01mm/min jusqu'au pic et 0.2mm/min ensuite) grâce à un capteur collé en face inférieure de l'éprouvette, à cheval sur l'entaille. La figure 2b permet de visualiser l'ensemble du dispositif expérimental avec la presse de flexion, l'éprouvette et au premier plan le dispositif de mesure.

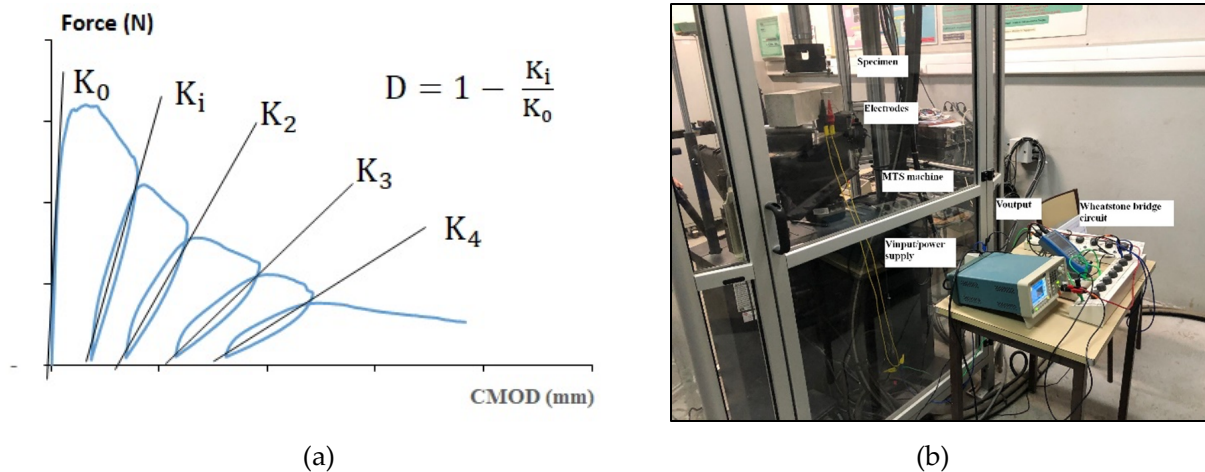


FIGURE 2. courbe force – ouverture de fissure et dispositif de mesure

Les cycles de chargement déchargement générant les boucles d’hystérésis que l’on peut observer sur la figure 2a, permettent de calculer la variable d’endommagement D à partir de la variation de la raideur de l’éprouvette comme indiqué sur la figure.

III. RESULTATS

La figure 3 présente les résultats des essais de flexion pour les trois éprouvettes. Sur la figure 3a on peut observer la variation de la charge en fonction de l’ouverture de la fissure. Les trois essais sont assez reproductibles, en particulier en termes de force maximum. En revanche, les boucles d’hystérésis ne sont pas identiques pour tous les essais. La figure 3b présente la variation de la force en fonction de la tension mesurée aux bornes du pont de Wheatstone. On remarque tout d’abord que les variations de tension sont significatives ce qui démontre l’efficacité du système de mesure. La mesure qui permet de suivre l’évolution de la fissure ainsi que les boucles d’hystérésis est également sensible à la position des électrodes en particulier dans la phase post-pic.

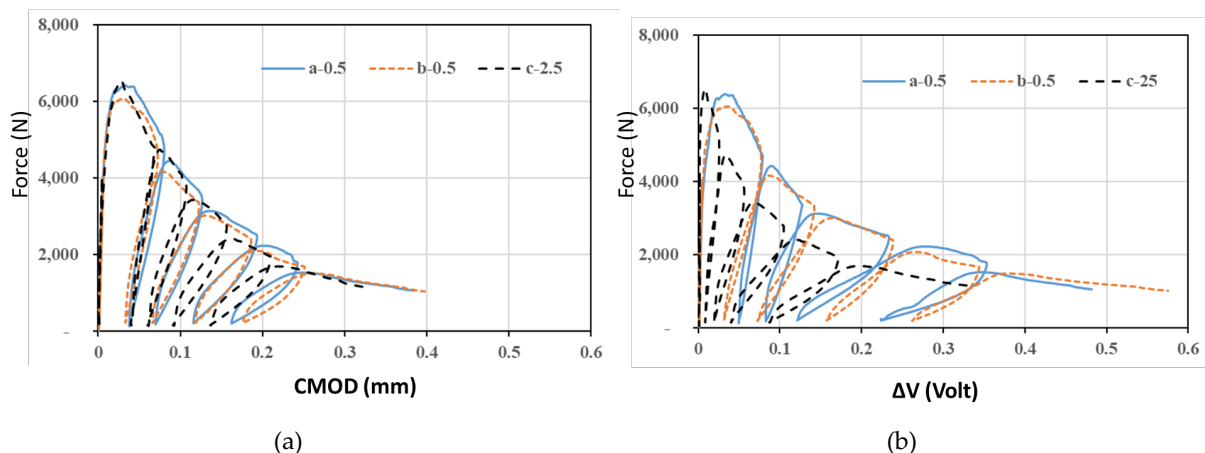
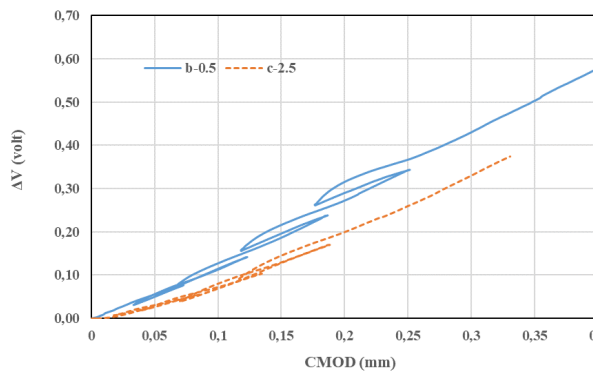


FIGURE 3. évolution de la charge de flexion avec l’ouverture de fissure et avec la tension aux bornes du pont de Wheatstone

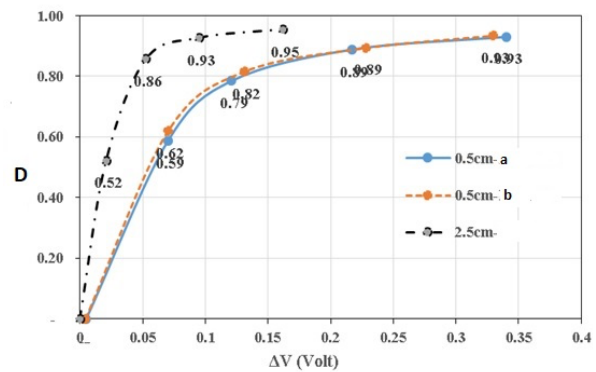
Les variations de résistance électrique détectées par le Pont de Wheatstone dans la partie post-pic sont dues à l’ouverture et à la fermeture de la fissure qui se traduisent par une augmentation

locale du volume de vides et une diminution de la conductivité. En pratique ces variations sont très faibles et difficilement identifiables par des mesures classiques de résistivité par exemple (Lataste et al, 2003), alors qu'ici il est démontré qu'elles sont aisément détectables en utilisant un pont de Wheatstone. La figure 4 présente la corrélation entre l'ouverture de fissure et la tension mesurée aux bornes du pont de Wheatstone pour les deux positions d'électrodes. Les deux paramètres sont bien corrélés ce qui démontre la capacité du dispositif à suivre l'évolution de l'ouverture de la fissure. La relation entre les deux paramètres dépend de la position des électrodes.



(a)

FIGURE 4. ouverture de fissure et tension aux bornes du pont de Wheatstone



(b)

FIGURE 5. variable d'endommagement en fonction de la tension mesurée aux bornes du pont de Wheatstone

La variable d'endommagement D , un paramètre courant en mécanique du béton, est également bien corrélée à la tension mesurée aux bornes du Pont de Wheatstone (Figure 5).

IV. CONCLUSIONS

Cet article présente un dispositif original, basé sur la mesure de la variation de la résistance électrique du béton entre deux électrodes noyées dans le béton avec un pont de Wheatstone. Le signal de sortie du pont permet de suivre l'ouverture et la fermeture d'une fissure générée au cours d'un essai de flexion trois points et il est très bien corrélé à la variable d'endommagement déterminée à partir des paramètres mécaniques.

REFERENCES

J.-M. Henault, M. Quiertant, S. Delepine-Lesoille, J. Salin, G. Moreau, F. Taillade, K. Benzarti, Quantitative strain measurement and crack detection in RC structures using a truly distributed fiber optic sensing system, *Construction and Building Materials*, Volume 37, 2012, Pages 916-923, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.029>.

LATASTE J-F, SIRIEIX C, BREYSSE D, FRAPPA M, "Electrical resistivity measurement applied to cracking assessment on reinforced concrete structures in civil engineering", *NDT & E International*, 2003; 36(6): 383-394. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-8695\(03\)00013-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-8695(03)00013-6)