

Introduction

Les deux derniers bulletins d'AusculTech ont été consacrés aux développements réalisés ces dix dernières années en ce qui concerne les techniques d'auscultation dites de l'acoustique non linéaire. Ce bulletin est dédié à une autre technique ultrasonore récemment introduite en génie civil pour l'évaluation de l'état des matériaux de construction ; soit la technique de l'interférométrie de la *coda wave* (onde coda).

Qu'est-ce que la coda wave ?

Les séismes ont des durées typiques de quelques secondes mais produisent des ondes qui sont enregistrées pendant des durées beaucoup plus longues, jusqu'à plusieurs heures. En référence au terme musical, la *coda wave* désigne ce faible signal, en apparence très désordonné, qui persiste plusieurs minutes après un séisme (Figure 1). Le sismologue japonais Keiiti Aki [Réf. 1] fut le premier à s'intéresser à ces ondes à la fin des années 1960. Il expliqua leur existence par la diffusion (déviations) multiple des ondes incidentes sur les nombreuses hétérogénéités dans la croûte terrestre, et démontra leur sensibilité à ces hétérogénéités.

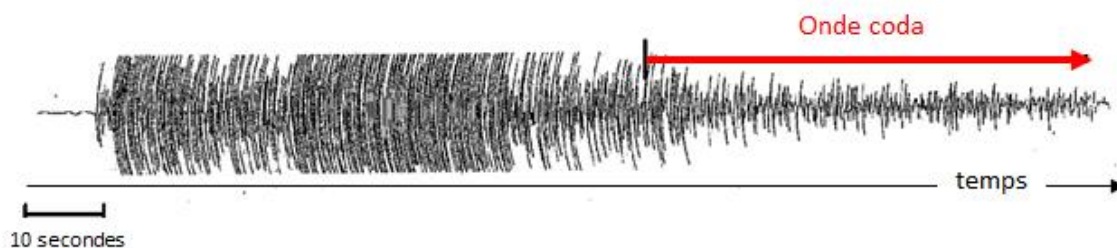


Figure 1 : Onde coda dans un enregistrement sismique

Le cas du béton

Le béton est également un matériau composite avec des hétérogénéités allant de la taille du micromètre au centimètre. Les ultrasons de basses fréquences se propagent à travers le béton sans subir de diffusion notable. Par contre, à haute fréquence (ex. 100 kHz), les ondes interagissent avec les hétérogénéités (ex. fissures, granulats) et subissent une diffusion multiple (Figure 2b). Cette interaction induit l'apparition de signaux d'arrivée tardive qui forment la coda wave (Figure 2c).

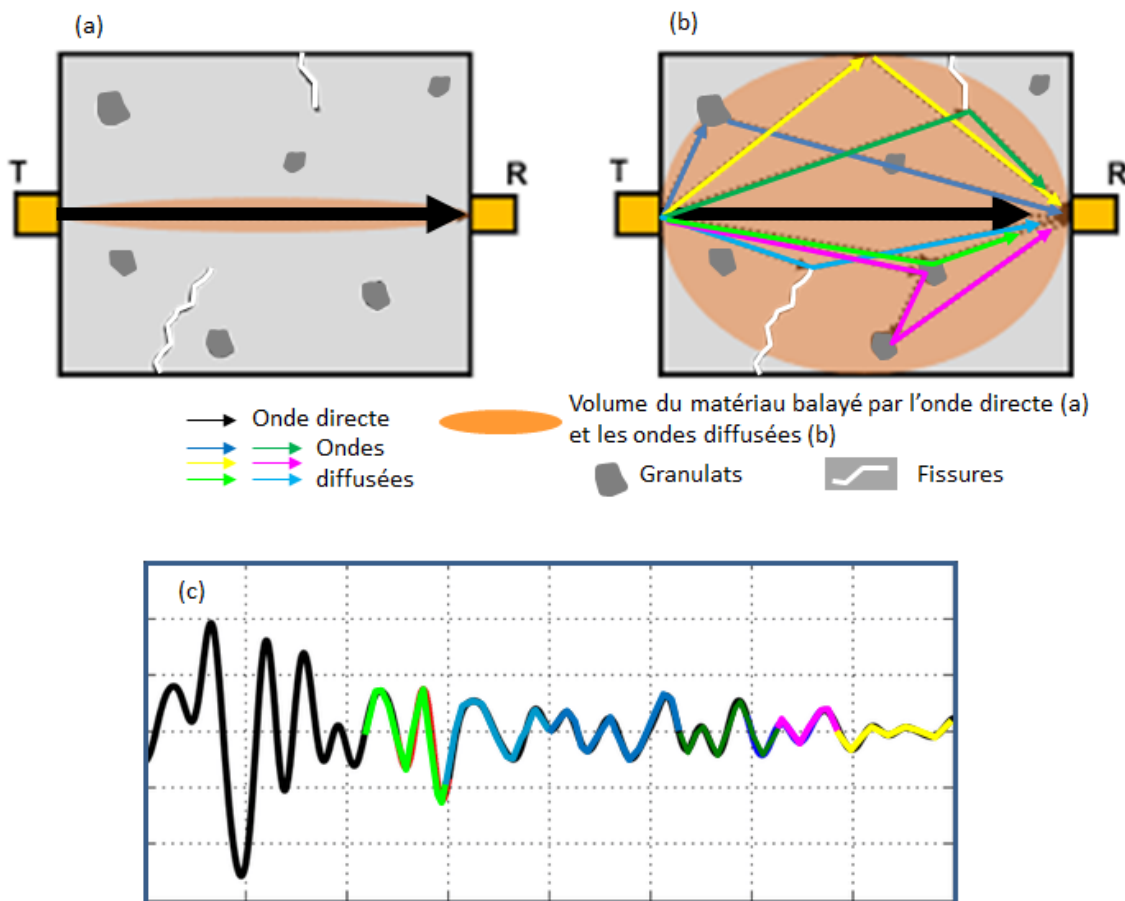


Figure 2 : Transmission (T) et réception (R) des ondes dans un béton. (a) trajet des ondes directes T-R, (b) trajet des ondes diffusées, (c) arrivée des ondes directes et diffusées au récepteur [Réf. 2]

L'interférométrie à ondes coda (IOC) est une technique non destructive qui exploite les ondes coda pour évaluer l'état des matériaux. La figure 3 ci-dessous illustre sa très grande sensibilité aux faibles changements dans le milieu de propagation. Elle donne les signaux collectés lors d'un essai sonique réalisé au cours du chargement en compression d'un échantillon de béton et à deux états de contrainte, 2 MPa et 2,5 MPa. La figure 3a indique que les signaux superposés collectés à ces deux états de contrainte ont la même allure. La figure 3b est relative à la partie initiale des signaux. Elle indique que ces signaux arrivent en même temps et se superposent parfaitement. Par contre, l'analyse plus détaillée des ondes coda (entre 1000 et 1100 μ s, Figure 3b) montre que les signaux ne se superposent pas parfaitement et qu'il existe un décalage temporel entre ces signaux. Ce décalage temporel permet notamment d'évaluer la variation de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le milieu suite à la variation de la contrainte mécanique qui lui est appliquée.

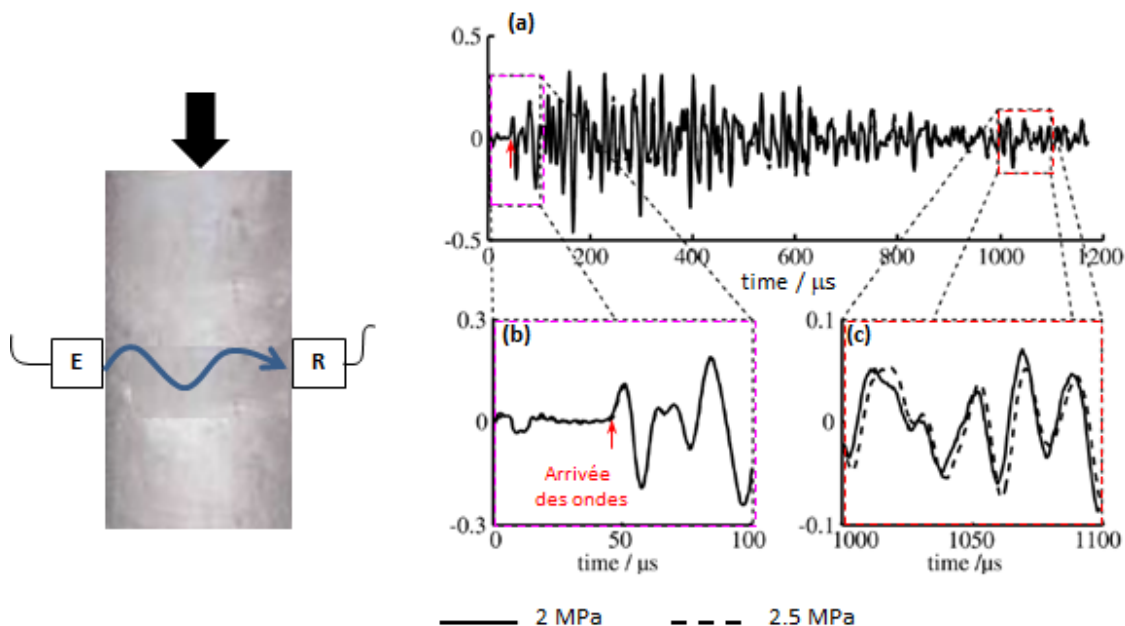


Figure 3 : Illustration de la sensibilité de l'IOC aux variations des contraintes dans le béton [Réf. 2]

La figure 4 illustre la sensibilité de l'IOC à la variation de la température du béton entre le jour et la nuit. La figure 4a montre la variation de la température durant 8 jours (augmentation de la température durant le jour et baisse durant la nuit). La figure 4b indique les variations de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le béton. Cette vitesse a été mesurée selon 2 façons : à partir de la mesure du temps de propagation des ondes directes (courbe en rouge) et à partir de l'IOC (courbe en bleu). La résolution de la mesure du temps de propagation est trop faible pour bien mettre en évidence les variations de la température du béton. Toutefois, les changements de vitesse évalués avec l'IOC suivent bien les changements de température. La vitesse des ultrasons diminue durant le jour (dilatation du béton) et augmente durant la nuit (contraction du béton). Les vitesses mesurées le jour et la nuit avec l'IOC diffèrent d'environ 0,2%.

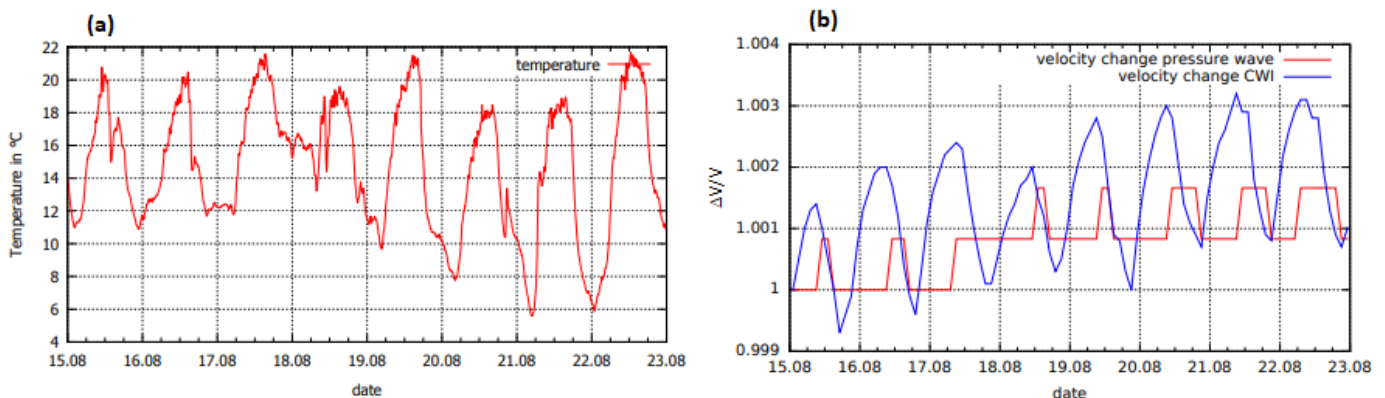


Figure 4 : Illustration de la sensibilité de l'IOC aux variations de la température du béton [Réf. 3]

Conclusion

La sensibilité de l'IOC aux faibles variations de l'état du béton est nettement plus élevée que celle de la mesure du temps de propagation. Cette technique peut notamment être utilisée pour suivre en temps réel et en continu le comportement des matériaux des structures en service.

Références

1. Aki, K, Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, J. Geophys. Res., 74, 6215-6231, 1969.
2. Irene Matteini¹, Paul Noyce , Gina Crevello. ASR: Practical investigative techniques and field monitoring systems used to assess ASR for service life modeling.. MATEC Web of Conferences 289, 08004 (2019)
3. Sven GROTHE. Ultrasonic Signal Evaluation Used to Analyse Changes in a Concrete Specimen Caused by Weather-Related Temperature Changes. International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) September 15 - 17, 2015, Berlin, Germany