

## Opération de recherche APOS (Auscultation Pour des Ouvrages Sûrs)

### Sujet 5 :

#### Evaluation des propriétés mécaniques du béton au jeune âge et sous sollicitation

##### ***Développement de la NCWI – méthode de modulation non linéaire de la coda ultrasonore pour la détection et la caractérisation de l'endommagement du béton***

*Odile ABRAHAM\**, *Yuxiang ZHANG\**, *Jean-Baptiste LEGLANG\**, *Olivier DURAND\**,  
*Vincent TOURNAT\*\**, *Benoît HILLOULIN\*\*\**, *Ahmed LOUKILI\*\*\**, *Frédéric GRONDIN\*\*\**

\* IFSTAR – GERS – GeoEND \*\*LAUM \*\*\* ECN

#### **Problématique et objectifs de l'action R&D**

La détection, la localisation et la caractérisation de fissures difficilement détectables dans le béton par les méthodes d'évaluation non destructives classiques est un enjeu pour une meilleure estimation de la durée de vie des structures.

L'interférométrie de la coda ultrasonore (CWI) permet de suivre des variations très faibles de vitesse de propagation des ondes ultrasonores (typiquement ~0.001%).

Les méthodes acoustiques non linéaires (ANL) sont sensibles aux non linéarités de type fissure.

Notre objectif était de concilier ces deux techniques en vue de détecter des défauts précoces et/ou de petites tailles. Le développement a été réalisé en collaboration avec le LAUM (Site de l'ESEO et Site de l'Université du Mans), le GEM (École Centrale de Nantes) et l'ESTACA (Laval).

#### **Démarche**

La démarche pour la détection de fissure a été :

1/ de développer une méthode pour suivre avec la CWI des éprouvettes en traction en s'affranchissant des effets de température en laboratoire. (Collaboration : Ifsttar, Laum, Eseo, Estaca ; financement ECND\_PdL) [A1 2012, A2 2013],

2/ de mettre au point une méthode couplant CWI et ANL sur un matériau linéaire (du verre) présentant une non-linéarité localisée (fissures) (Collaboration : Ifsttar, Laum, Eseo, Estaca ; financement ECND\_PdL) [A3 2013],

3/ de porter cette méthode sur des éprouvettes de béton fissurées par flexion 3 points (Collaboration : Ifsttar, Ecole Centrale de Nantes, Laum ; financement LiRGeC) [A4 2014],

4/ de la tester sur une structure de taille métrique (mur SENSO) et de proposer une solution pour la correction des biais liés aux variations de température (Collaboration : Ifsttar, Laum, Financement Ifsttar),

Cette méthode a été utilisée avec succès pour le suivi de la cicatrisation de fissure (Collaboration : Ifsttar, Ecole Centrale de Nantes, Laum ; financement LiRGeC) [A5 2016],

Les perspectives, qui bénéficient de financements, sont de passer à de la localisation d'endommagements diffus et/ou de fissures en travaillant tant sur le problème inverse (PIA ANR ENDE sur la contrainte et l'endommagement thermique) que sur le problème direct (financement du RFI LMAc dans le cadre du projet 2IDANL).

**Mots clés :** *ultrason, cnd, coda, béton, contrainte, endommagement, fissure*

## Principaux résultats

- Mise au point d'une nouvelle méthode d'Évaluation Non Destructive pour la détection d'un endommagement précoce, de petites fissures, pour le suivi de contrainte et de l'auto-cicatrisation de fissures.
- Cette méthode prend en compte les biais liés à la température et a été appliquée sur des objets de béton de taille centimétrique et métrique. Elle a été employée avec succès pour le suivi de l'auto-cicatrisation de poutrelles de mortier (Figure 1) fissurée en flexion 3 points pour une fissure d'ouverture inférieure à 100 µm.

## Illustrations

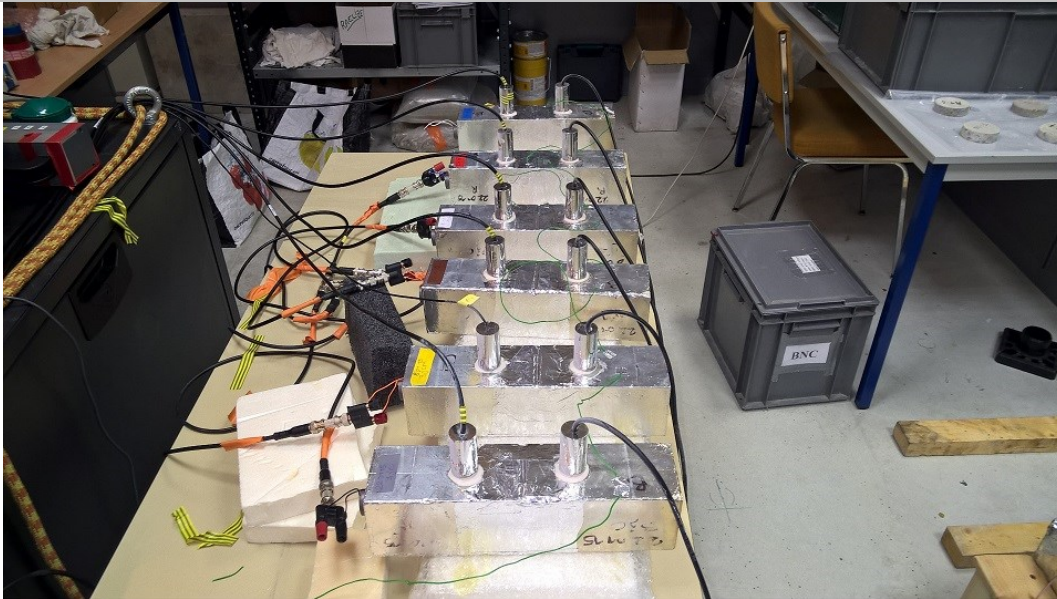


Fig. 1. Monitoring de l'auto-cicatrisation de poutrelles de mortier [A 5 2016]

## Livrables

Type	Titre	Date
A 1	Zhang Y., Abraham O., Tournat V., Le Duff A., Lascoup B., Loukili A., Grondin F., Durand O., <i>Study of stress-induced velocity variation in concrete under direct tensile force and monitoring of the damage level by using thermally-compensated Coda Wave Interferometry</i> , Ultrasonics, 52(8), pp1038-1045, 2012. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.08.011">http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.08.011</a>	2012
A 2	Zhang Y., Abraham O., Loukili A., Grondin F., Tournat V., Le Duff A., Lascoup B., Durand O., <i>Validation of a thermal bias control technique for Coda Wave Interferometry (CWI)</i> , Ultrasonics, 53(3), pp658–664, 2013. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.08.003">http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.08.003</a>	2013
A 3	Zhang Y., Tournat V., Abraham O., Le Duff A., Lascoup B., Durand O., <i>Nonlinear mixing of ultrasonic coda waves with lower frequency-swept pump waves for a global detection of defects in multiple scattering media</i> , Journal of Applied Physics, 113, 064905, 2013. <a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4791585">http://dx.doi.org/10.1063/1.4791585</a>	2013
A 4	Hilloulin B., Zhang Y., Abraham O., Loukili A., Grondin F., Durand O., Tournat V., <i>Small crack detection in concrete with coda wave nonlinear modulation</i> , International Journal of Nondestructive Testing and Evaluation, 68, pp.98-104, 2014. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.08.010">http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.08.010</a>	2014
A 5	Hilloulin B., Legland JB, c, Lys E., Abraham O., Loukili A., Grondin F., Durand D., Tournat V., <i>Monitoring of autogenous crack healing in cementitious materials by the nonlinear modulation of ultrasonic coda waves, 3D microscopy and X-ray microtomography</i> , JCBM, 123, pp.143-152, 2016. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.138">http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.138</a>	2016
A	Zhang Y., Tournat V., Abraham O., Durand O., Letourneur S., Le Duff A., Lascoup B., <i>Nonlinear modulation of ultrasonic coda waves for the global evaluation of damage levels in complex solids</i> , soumis à Ultrasonics, en révision	2016 ?