

Evaluation non destructive de l'endommagement mécanique du béton par émission acoustique - Application au monitoring de la maquette VerCorS

Seif Eddine Hamdi, Antoine Boniface, Jacqueline Saliba, Mehdi Sbartai

Institut de Mécanique et Ingénierie, Université de Bordeaux, 351 cours de la libération 33405 Talence cedex, France

RESUME Cette étude présente les résultats d'Emission Acoustique (EA) obtenus lors de deux campagnes d'essais sur la maquette Vercors à l'échelle 1/3 d'une enceinte de confinement de centrale nucléaire sur le site R&D d'EDF. La première campagne a été effectuée en juillet 2017. La deuxième campagne d'essais a été effectuée en mars 2019. L'objectif de ces essais est de mettre en évidence la propagation ou non de fissures ou la réouverture de fissures déjà existantes sous sollicitations. Pour répondre à cet objectif, l'instrumentation par EA s'est focalisée, dans les deux cas, sur la même zone pré-fissurée de la surface du béton. L'ensemble des données de localisation présentées ici ont été obtenues avec l'utilisation de l'algorithme par maillage adaptatif en 2D (Boniface, 2017). Les résultats obtenus sur Vercors ne permettent pas de mettre en évidence un chemin de fissuration. En revanche l'activité acoustique faible et diffuse sur la zone couverte par les capteurs suggère une simple ouverture de fissure sans propagation.

Mots-clefs Fissuration, Emission Acoustique, Enceinte de confinement de centrale nucléaire

I. INTRODUCTION

Le déclenchement et la propagation des fissures dans les structures en béton est associée au développement de microfissures qui apparaissent lorsque les contraintes locales du matériau sont dépassées. Il résulte de ces microfissurations la libération d'énergie qui se propage dans le béton sous la forme d'ondes mécaniques. La détection de ses ondes permet de remonter à leur source et de caractériser l'état d'endommagement de la structure (Boniface, 2017).

L'Emission Acoustique (EA) permet d'enregistrer les signaux issus de la libération d'énergie mécanique émise par les microfissures au sein du matériau. L'analyse des temps de vol de ces ondes permet de localiser leurs sources au sein de la structure. Cette particularité de l'EA permet le suivi de l'endommagement et de la fissuration du béton (Boniface et al. 2020).

Cependant, la précision des outils de localisation existants dépend fortement de la méthode d'analyse des signaux enregistrés. Cette dépendance constitue un verrou important qui doit être retiré pour garantir que la surveillance spatiale de la croissance des fissures soit aussi fiable que possible (Shehadeh et al, 2006). Dans ce papier, deux campagnes d'essais d'ouverture et de refermeture de fissures existantes sur la maquette « Vercors » d'EDF qui représente une enceinte de confinement de centrale nucléaire à l'échelle 1/3, ont été conduites en 2017 et en 2019,

respectivement. Une analyse spatiale basée sur la densité d'événements acoustiques et l'énergie libérée a permis de suivre la propagation de la fissuration dans la maquette. Une comparaison des résultats des deux campagnes de mesures a été conduite.

II. Essais sur site : Protocole expérimental

Dans le cadre du projet ENDE, une batterie d'essais a été conduite sur Vercors (VERification Réaliste du CONfinement des Réacteurs), qui est une maquette du bâtiment réacteur d'une centrale nucléaire à l'échelle 1/3. Deux campagnes de suivi non destructif par EA ont été conduites en 2017 et en 2019 pour détecter le déclenchement et la propagation des fissures dans le béton. Lors de ces essais, la pression interne de l'enceinte est augmentée à l'aide de compresseurs jusqu'à 5 bars afin de se rapprocher le plus possible des conditions d'un accident. La montée en pression est assurée par deux compresseurs reliés à l'intérieur de l'enceinte interne. Un essai de montée en pression se déroule sur 3 jours. Un premier palier de pression de 4 heures à 3,02 bars est atteint après 10 heures de montée en pression. Le palier principal d'une durée de 12 heures à 5,27 bars est atteint après une deuxième phase de montée en pression de 12 heures. Enfin, la pression est relâchée progressivement à deux vitesses différentes pendant 20 heures jusqu'au retour à la pression atmosphérique (Boniface, 2017).

Le système d'acquisition utilisé pendant les campagnes d'essais est formé d'un PC Mistras équipé d'une carte d'acquisition PCI8 8 voies ainsi que du logiciel d'acquisition et de traitement des données AEwin. Les signaux sont enregistrés par des capteurs piézoélectriques résonnants R15 (Fig. 1(a)) de fréquence centrale 150kHz et préamplifiés de 40dB. Le mur instrumenté est la face extérieure de l'enceinte interne dans l'espace entre enceintes. La position des 8 capteurs est symbolisée par des cercles rouges. La zone couverte mesure 1,5 m de large sur 1,1 m de haut. Cette zone a été choisie pour la présence de 3 fissures observées lors d'essais antérieurs. La Fig. 1(b) illustre la position relative des capteurs sur la surface d'investigation. Cette disposition de capteurs a été retenue de manière à couvrir une zone assez large pour pouvoir éventuellement suivre plusieurs fissures en même temps. Cette configuration de capteurs a été reproduite à l'identique lors des deux campagnes d'essais.

FIGURE 1. (a) Zone d'inspection dans l'espace entre enceintes et position des capteurs (cercles rouges) ; (b) Position des capteurs (points rouges), chemins symboliques des fissures observables à l'œil nu (pointillés verts) et reprises de bétonnage (pointillés bleus) sur la zone d'inspection.

III. SUIVI DES FISSURES PAR ANALYSE DES DENSITÉS D'ÉVÈNEMENTS ET D'ÉNERGIES

Les Figs. 2(a-b) illustrent la pression interne et activité acoustique et énergétique cumulée en fonction du temps pendant les campagnes de 2017 et 2019 respectivement. L'étude de l'activité acoustique enregistrée au cours du temps permet d'affirmer que la phase de montée en pression lors de la campagne de 2017 présente une activité plus importante que la campagne de 2019 en termes de signaux et d'événements (plus de 30 %). Cependant, la première campagne présente un pourcentage plus faible en termes d'énergie reçue : moins de 7 % de l'énergie de tous les signaux et 19 % de l'énergie contenue dans les événements. Par contre, il est à noter que lors des deux campagnes d'essais, la deuxième phase de montée en pression (réouverture de fissure) regroupe plus que 85 % de l'énergie reçue contenue dans les événements reçus pendant la totalité des essais.

Les Figs. 2(c-d) présentent les résultats de comparaison des cartes de densité d'événements et d'énergies associées à la deuxième phase de montée en pression lors des campagnes de 2017 et 2019, respectivement. La première campagne d'essais (Fig. 2c) regroupe 59,6 % des événements formés et 90,2 % de l'énergie contenue dans la totalité des événements contre 71,6% des événements formés et 87,7 % de l'énergie contenue dans la totalité des événements lors de la deuxième campagne d'essais (Fig. 2d). Par contre, même si le nombre d'événements est plus important lors de la première campagne, la carte ne fait pas apparaître de zone de concentration particulière (Fig. 2c) ; contrairement à une concentration localisée des distributions d'énergie autour du front de la fissure horizontale (Fig. 2d). Par ailleurs, même si des pics d'énergie sont observés, ils ne permettent pas de faire émerger un chemin de fissure pendant les deux campagnes d'essais.

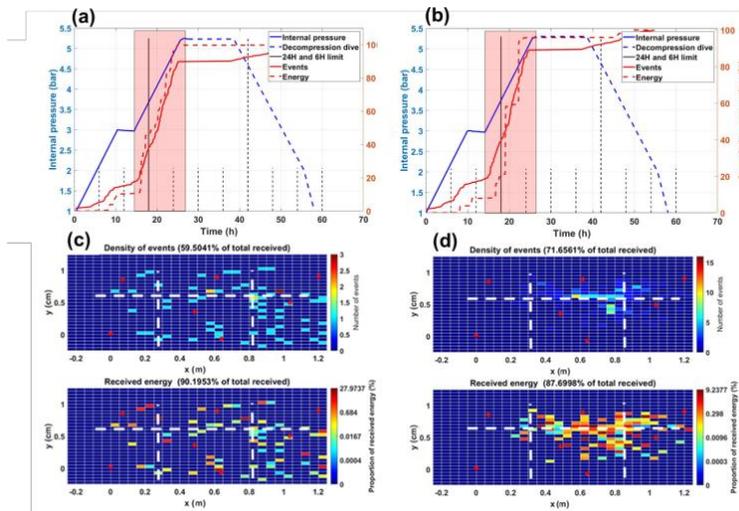


FIGURE 2. Pression interne et activité acoustique et énergétique cumulée en fonction du temps : campagne 2017 (a) campagne 2019 (b). Densité d'événement et d'énergie détectés pendant la deuxième phase de montée en pression : campagne 2017 (c) campagne 2019 (d). Position des capteurs (points rouges) et chemins de fissures observés (pointillés blancs).

Les résultats obtenus sur Vercors ne permettent pas de mettre en évidence un chemin de fissuration. En revanche l'activité acoustique faible et diffuse sur la zone couverte par les capteurs suggère une simple ouverture de fissure sans propagation. Les mécanismes à l'origine de cette activité acoustique peuvent être dus aux frottements entre les lèvres des fissures déjà existantes. Il faut ajouter à cela le rôle des câbles de précontrainte ainsi que l'ensemble du ferrailage présent dans la structure qui sont susceptibles de représenter des zones de frottements supplémentaires aux interfaces acier/béton (Boniface, 2017).

IV. CONCLUSION

L'objectif des deux campagnes essais était de mettre en évidence la présence de fissures ainsi que leur éventuelle propagation sur la maquette Vercors d'une enceinte de confinement de centrale nucléaire. Pour remplir ces objectifs des zones identifiées comme fissurées ont été instrumentées à l'aide de la technique d'EA. Lors des deux campagnes de mesures, il n'a pas été possible d'affirmer qu'il y a eu progression de fissures dans les zones couvertes par les capteurs. En effet les phases de sollicitation des structures par augmentation de la pression interne regroupent 70 à 80 % des signaux enregistrés. Ces phases correspondent à une ouverture des fissures existantes. La localisation des événements acoustique, ne permet pas de faire apparaître des chemins de fissuration. Une répartition diffuse de l'activité acoustique et énergétique a été observée lors de la première campagne contre une répartition localisée des événements lors de la deuxième campagne. On note par ailleurs lors des deux essais une activité acoustique plus importante à l'extrémité supérieure des fissures. Cette activité acoustique plus importante est probablement liée aux mécanismes de frottements plus nombreux dans une zone où les lèvres des fissures sont plus proches. Ce point de comparaison permet d'envisager une simple ouverture des fissures lors des essais sur site. Des essais d'EA supplémentaires et focalisés sur l'extrémité des fissures permettraient de confirmer ou infirmer l'hypothèse d'une activité acoustique principalement localisée aux extrémités des fissures. En plus, la modification de la structure du béton au cours de son endommagement n'est pas prise en compte puisqu'une vitesse unique et constante est utilisée tout au long de l'essai. Un niveau de fiabilisation supérieur peut être atteint en tenant compte de ces modifications. Une carte de vitesse de propagation peut être établie dans le matériau et mise à jour au cours d'un essai pour faire apparaître les zones endommagées en temps réel.

REFERENCES

A. Boniface, (2017). Détection et évaluation de l'endommagement mécanique du béton par émission acoustique. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux.

A. Boniface, J. Saliba, Z. M. Sbartai, J.P. Balayssac (2020). Evaluation of the acoustic emission 3D localisation accuracy for the mechanical damage monitoring in concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 223, 106742, <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106742>

M. Shehadeh, J.A. Steel, R.L. Reuben. (2006). Acoustic emission source location for steel pipe and pipeline applications: the role of arrival time estimation. *Proc Inst Mech Eng Part E J Process Mech Eng*, 220, 121-133.