

Monitoring de l'endommagement du béton sous chargement thermique par la technique d'émission acoustique

A. boniface¹, J. Saliba¹, ZM. Sbartai¹, N. Ranaivomanana², J. Verdier², J-P. Balayssac²

¹ Université de Bordeaux, CNRS, Esplanade des Arts et Métiers, Bordeaux INP, INRAE, I2M Bordeaux, F-33400 Talence, France

² Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), NSA-UPS, INSA-GENIE CIVIL

RESUME L'étude du comportement du béton sous l'effet de la température est primordiale afin d'évaluer le niveau de sécurité des structures sous sollicitations thermiques (cas des structures nucléaires par exemple). En effet, le chargement thermique conduit à plusieurs mécanismes d'endommagement responsables de la fissuration du béton. Une investigation expérimentale est proposée ici afin de suivre l'évolution de l'endommagement sous chargement thermique par la technique d'émission acoustique. Une proportionnalité entre l'évolution de la température et l'activité acoustique a été observée en phase de chauffage et de maintien de la température. La phase de refroidissement a montré une faible activité acoustique. Les cartes de densité des événements et de l'énergie tracées à partir des cartes de localisation ont permis de suivre l'évolution de l'endommagement et de localiser la fissuration.

Mots-clefs émission acoustique, endommagement, température, énergie, évènements

I. INTRODUCTION

L'augmentation de la température change de manière significative le comportement du béton ainsi que ses propriétés mécaniques. En effet, le béton contient une microstructure complexe et une présence d'eau qui change d'état à haute température et peut générer des pressions importantes au niveau des pores [1]. De plus, le chargement thermique conduit à plusieurs mécanismes d'endommagement responsables de la fissuration du béton comme l'endommagement dû aux gradients thermiques induisant des dilatations différentielles entre le cœur et la surface de la structure, l'endommagement d'origine physicochimique et l'endommagement dû aux forts contrastes de déformations entre la pâte et les granulats. Afin de suivre l'évolution de l'endommagement sous chargement thermique, la technique d'émission acoustique (EA) a été utilisée dans cette étude. Cette technique a été largement utilisée dans la littérature afin de suivre l'endommagement des structures sous différents types de chargement [2, 3]. L'évolution de l'endommagement du béton soumis à un chargement thermique variable pouvant atteindre 150°C localement a été suivie durant les trois phases de chauffage, de maintien de température et de refroidissement.

II. MATERIAUX ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

A. Matériaux et formulations

Le béton étudié a été formulé pour être représentatif des bétons des centrales nucléaires de deuxième génération tant sur le plan mécanique (résistance) que physique (porosité et transfert). Ce béton a également été utilisé pour la construction de la maquette VerCoRs représentant une enceinte à double paroi d'une centrale nucléaire à l'échelle 1/3. Le tableau 1 donne la composition du béton étudié. Les propriétés à l'état frais ainsi que les propriétés mécaniques du béton à 28 jours sont présentées au tableau 2. Les propriétés mécaniques du béton ont été déterminées sur des éprouvettes cylindriques de 11 cm de diamètre et 22 cm de hauteur.

TABLEAU 1. Composition du béton

Constituants	Proportions massique (kg.m ⁻³)
Ciment CEM I 52,5 CE NF	320
Gravillons 4/11	445
Gravillons 8/16 Balloy	550
Sable 0/4	830
Superplastifiant Sikaplast Techno 80	2,4
Eau	197,5

TABLEAU 2. Propriétés à l'état frais et propriétés mécaniques du béton à 28 jours

f _{cm} (MPa)	E (MPa)	Porosité (%)
50,4 (1,3)	35 213 (332,8)	14,32 (0,24)
Densité (kg/m ³)	Affaissement (mm)	Air entrainé (%)
2 358 (6,2)	200	1,6

B. Procédure expérimentale

Une poutre de dimensions 120 x 250 x 500 mm³ a été fabriquée pour cette étude. Avant le coulage du béton, une résistance électrique a été placée dans le moule à 8 cm de la face inférieure de la poutre comme le montre la figure 1. Cette résistance a 8 cm de longueur et 1 cm de diamètre. Pour mesurer la température dans le béton, une sonde thermocouple T1 est placée près de la résistance à 1,5 cm de la surface du béton. Une deuxième sonde thermocouple T2 a été placée à la surface du béton. La poutre en béton a été recouverte d'un film plastique pour éviter l'évaporation de l'eau et stockée dans une chambre humide à 95% HR et 20 ± 2°C pendant 24 heures. La poutre a été ensuite démoulée puis stockée dans de l'eau de chaux pendant 60 jours.

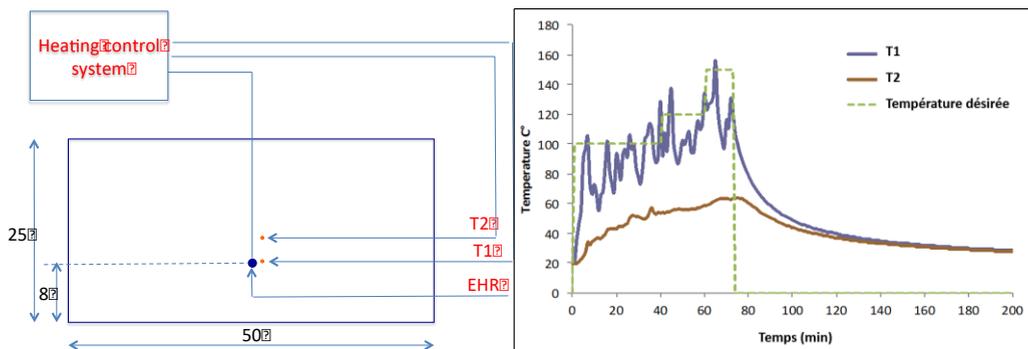


Figure 1. (a) Position de la résistance thermique et des deux sondes thermocouple (b) Variation de la température souhaitée et des températures mesurées en fonction du temps

Le chargement thermique a été réalisé localement en plaçant une résistance thermique au centre de manière à ce que la température au niveau de la surface où les capteurs piézoélectriques ont été placés, ne modifie pas leurs caractéristiques acoustiques. Le chauffage a consisté à appliquer un cycle de 3 températures (100, 120 et 150°C) (figure 1(b)). Le système d'acquisition d'EA est formé d'un PC Mistras équipé d'une carte d'acquisition PCI8 8 voies et du logiciel d'acquisition et de traitement des données AWin. La localisation en 3D et la propagation de fissure ont été suivies à l'aide de huit capteurs piézoélectriques R15.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La figure 2 illustre l'évolution de la température en corrélation avec le nombre d'évènements et l'énergie cumulés (1 : 100°C, 2 : 120°C, 3 : 150°C et 4 : 25°C). La proportion d'évènements enregistrés progresse par à coup en parallèle avec des sauts énergétiques en fonction de l'évolution de la température. A noter ici qu'un algorithme de localisation optimisé, développé en interne, a été utilisé dans cette étude [3,4].

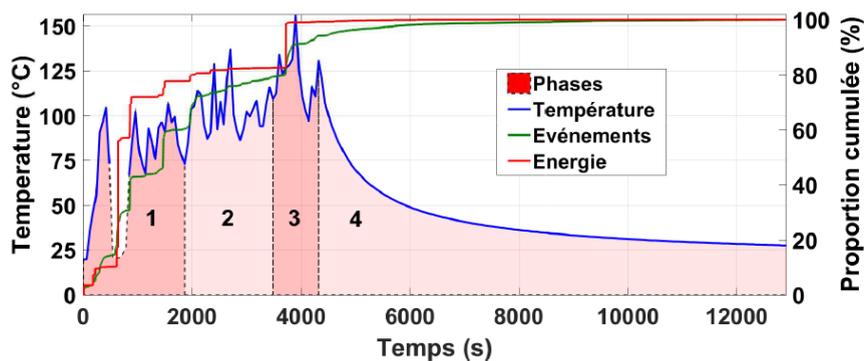


Figure 1. Evolution de la température en corrélation avec le nombre d'évènements et l'énergie cumulés

Dans les premières 400 secondes, l'activité acoustique augmente proportionnellement à la température. Les cartes de densité des évènements acoustiques et de l'énergie permettent de mettre en évidence une zone d'endommagement diffus principalement autour de la résistance chauffante. Ceci peut être dû au déplacement de l'eau dans le béton pour créer ainsi une zone sèche, une zone de vapeur et une zone humide autour de la résistance. A noter ici que les évènements les plus énergétiques ont été localisés autour de la résistance probablement dû à la génération des micro-fissures liées au retrait thermique et la pression de vapeur.

L'activité acoustique augmente rapidement par la suite pour atteindre à la fin de la phase 1 : 60,3 % de l'activité acoustique et 77,8 % de l'énergie reçue au cours de tout l'essai. Les cartes de densité montrent que l'endommagement s'étend vers la surface inférieure de la poutre avec une distribution de l'énergie selon Ox beaucoup plus étroite avec une concentration de 64 % dans une bande horizontale de 1 cm de large et de 12 cm de hauteur passant par la résistance chauffante. La position des deux pics principaux de libération d'énergie suggère l'apparition d'une macrofissure entre la résistance et la surface la plus proche. Ceci peut être dû aux gradients de température qui provoquent des contraintes de traction dans une direction perpendiculaire.

Lors du palier, le taux de l'activité acoustique augmente légèrement jusqu'au la troisième consigne imposée avec une température 150°C. L'activité acoustique augmente ainsi de nouveau pendant la phase 3 qui regroupe 15,1% de l'activité acoustique et 16,7% de l'énergie enregistrée. Pendant la phase de refroidissement, une faible activité acoustique a été générée.

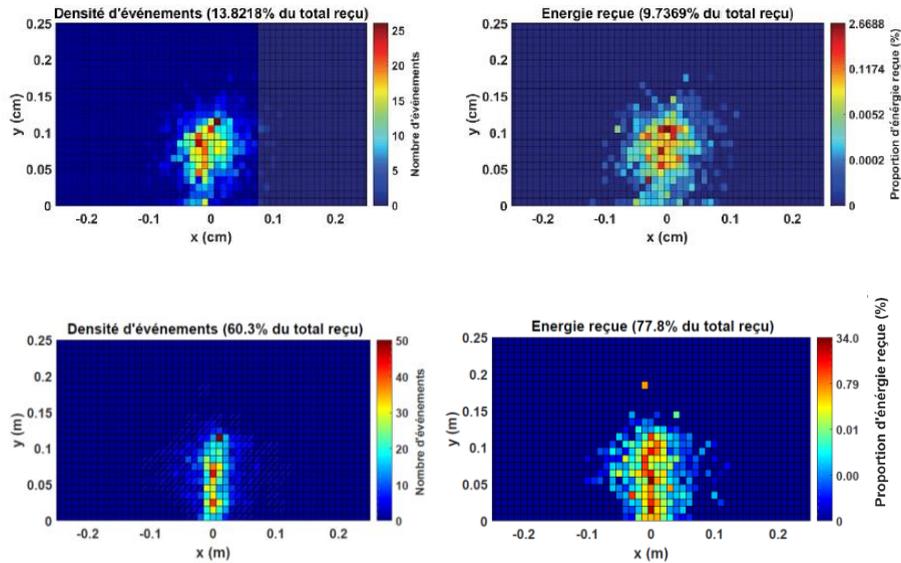


FIGURE 2. Cartographie des densités des événements et d'énergie à 400 s et à la fin de la phase 1.

IV. CONCLUSIONS

L'évolution de l'endommagement du béton sous chargement thermique a été suivi dans cette étude à l'aide de la technique d'émission acoustique. L'étude des cartes de densité des événements et des pics de dissipation d'énergie permet d'évaluer la taille de la zone endommagée et de tracer le chemin de fissuration. La reconstruction du profil 3D de la fissure en se basant sur les cartes de densités et la possibilité de classifier les signaux par une étude statistique multi variable en fonction des mécanismes sources seront évaluées par la suite. L'effet du chargement thermique sur le comportement à la rupture et les caractéristiques mécaniques du béton sera aussi évalué en soumettant les poutres chargées thermiquement à un essai de rupture en flexion trois points en comparaison avec des poutres de référence.

REFERENCES

- [1] Ozawa M., Uchida S., Kamada T., Morimoto H. (2012). Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission, *Construction and Building Materials*, 37, 621–628 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.070>
- [2] Ma J., Du F., Zhang S. (2020). Acoustic Emission Characteristics of Normal and Layered Concrete Blocks during Dilating/Static Fracture. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/7325437>
- [3] Boniface A., Saliba J., Sbartai Z.M., Ranaivomanana N., Balayssac J-P. (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.2019.10674>
- [4] Boniface A., Sbartai Z.M., Saliba J., Ranaivomanana N. (2016). Comparison of localization strategies of damage in concrete by acoustic emission, *NDT.net issue*, 21, 11.