

Apport de l'émission acoustique à la caractérisation du développement de la RAG dans les structures en béton

Narintsoa Ranaivomanana¹, Florian Ouvrier-Bufferet², Jean-Paul Balayssac¹, Vincent Garnier², Cédric Payan², Benoît Durville³

¹LDMC, Université de Toulouse, INSA, UPS, Toulouse, France

²LMA, Aix-Marseille Université, CNRS, Marseille, France

²IRSN, PSN-RES/SEREX/L2EC, Cadarache, France

RESUME La Réaction Alkali-Granulats (RAG) est une pathologie du béton pouvant se traduire par des déformations de gonflement, des fissurations de parement ou encore une chute des performances mécaniques des structures atteintes. Cet article a pour objectif la caractérisation de la phase d'initiation ainsi que du développement de la RAG dans les structures en béton par la technique de l'émission acoustique (EA). Dans ce but, deux types d'essais ont été réalisés. Le premier essai consiste à comparer l'activité acoustique d'éprouvettes réactives en gonflement libre par rapport à celle d'éprouvettes réactives dont le gonflement dans la direction axiale est gêné, ceci dans le but notamment de conforter l'hypothèse selon laquelle l'application d'une contrainte (active ou passive) déviatorique amplifierait l'anisotropie du gonflement et donc de l'endommagement du fait de l'orientation préférentielle des microfissures. Le second essai consiste en un monitoring par EA d'un bloc de béton de dimensions 40×40×40 cm atteint de RAG. L'EA apporte ainsi de nouveaux éclairages sur le processus de développement de la RAG dans les structures en béton où, plus particulièrement, le gonflement du béton situé au cœur est empêché par celui du béton enveloppant.

Mots-clefs béton, émission acoustique, RAG, CND, monitoring.

I. INTRODUCTION

La réaction alcali-granulats (RAG) est une pathologie du béton qui consiste en la formation d'un gel silico-alcalin hydrophile et expansif dont les effets sont bien connus : expansion du béton, réseaux de fissures polygonales en surface, exsudations des gels silicieux... Trois conditions sont nécessaires pour que cette réaction ait lieu : des granulats contenant de la silice réactive, une concentration élevée en alcalins (Na^+ et K^+) et une humidité relative élevée (> à 80 à 85%). En 1976, le barrage de Chambon est le premier ouvrage Français où l'on a détecté cette pathologie. Dans le domaine du nucléaire, plusieurs cas d'apparition de la RAG sur des installations ont été répertoriés dans le monde notamment aux USA (Seabrook), en Belgique (Tihange), au Canada (Gentilly), en France (Civaux). Afin d'aider les maîtres d'ouvrages à mettre en place une stratégie de surveillance et de maintenance des structures pour anticiper les risques de développement de

cette pathologie ou s'en prémunir, la technique émission acoustique (EA) a été mise à profit dans le cadre de cette étude pour caractériser la phase d'initiation ainsi que le développement de la RAG dans les structures en béton.

II. CARACTERISATION PAR EA DE LA RAG SOUS DEFORMATION LIBRE ET GENEÉ

A. Matériaux et méthodes

Le béton utilisé est confectionné à partir d'un ciment CEM I 52,5 R produit par Lafarge dosé à 410 kg/m³ (représentatif du béton des ouvrages d'art), des granulats classés « potentiellement réactifs » issus de la carrière du Gaurain avec un rapport G/S = 1,49 et un rapport E/C de 0,40. De la soude (NaOH) est ensuite rajoutée à l'eau de gâchage avec une teneur de 5,134 kg/m³ afin d'obtenir une teneur en alcalins équivalent du béton Na₂O_{eq} de 1,25% en tenant compte des alcalins apportés par le ciment. Concernant les caractéristiques mécaniques moyennes à 28j, la résistance en compression est de 38,2 MPa tandis que le module de Young statique vaut 38 GPa. Les éprouvettes testées sont d'abord stockées en conditions endogène pendant 28 jours et mis ensuite dans un bac étanche rempli d'eau maintenue à 38±1 °C pendant toute la durée des essais.

La chaîne d'acquisition utilisée pour le suivi de l'EA des éprouvettes est constituée d'un PC équipé d'une carte disposant de 8 voies d'acquisition, de 8 capteurs de type R-15α résonant à 150 kHz et de préamplificateurs de gain 40 dB pour augmenter le rapport signal/bruit. Etant donné que les éprouvettes sont entièrement immergées dans l'eau, les capteurs sont tout d'abord enfilés dans des membranes étanches en latex pour les préserver de l'humidité et maintenus ensuite fixés aux éprouvettes à l'aide de cavaliers en PVC (figure 1-b). Une couche de graisse silicone est appliquée entre la membrane et la surface du béton pour assurer un meilleur couplage des capteurs. Ce dernier est ensuite vérifié à l'aide d'un test de cassé de mines (ou test Hsu-Nielsen). Chaque éprouvette testée est munie de 2 capteurs EA. Enfin, un filtre de type Swansong II [1] a été appliqué en post-traitement aux signaux bruts afin de ne garder que les signaux pertinents correspondant aux dommages liés au développement de la RAG (soit 86% des signaux collectés) et d'éliminer les signaux qui peuvent être associés à d'autres sources telles que le bruit environnant, les bruits électromagnétiques, etc.

Des bâtis rigides en acier inox ont également été conçus dans le but de gêner les déformations de RAG dans l'axe des éprouvettes et de générer indirectement un état de contrainte déviatorique. Le schéma de principe de ces bâtis est indiqué sur la figure 1-a. Les tiges (1) reliant le support haut (2) et l'embase (5) ont un diamètre de 6 ou 10 mm de façon à avoir deux rigidités de bâtis différentes et donc deux niveaux différents de restriction de déformation. Ces tiges sont ensuite instrumentées de jauges de déformation protégées à l'aide d'une résine étanche pour le suivi de leur allongement sous l'effet du gonflement du béton, ce qui permettra ensuite de remonter aux déformations du béton.

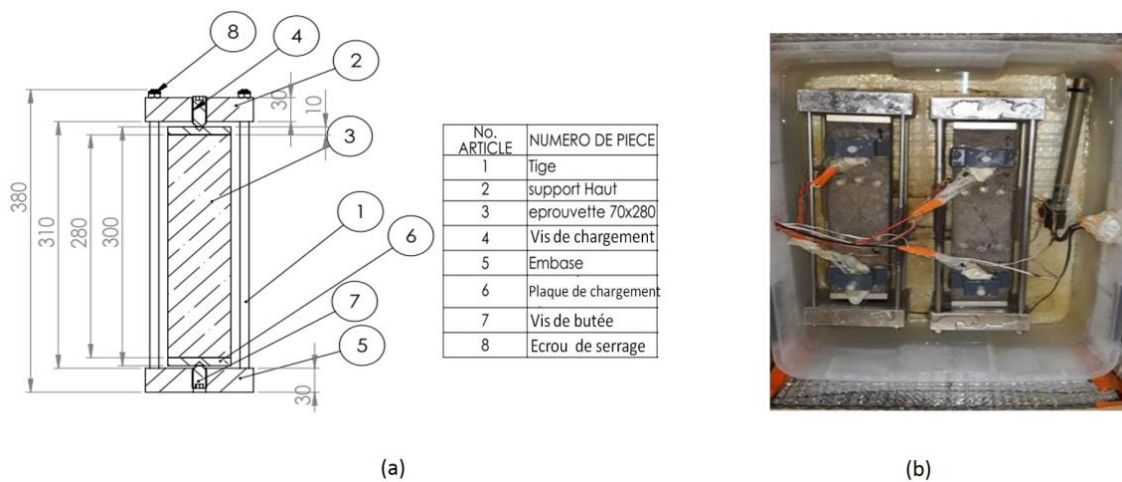


FIGURE 1. Dispositif expérimental pour le monitoring de la RAG par EA

B. Résultats

Les déformations mesurées à partir de l'immersion (à 28 jours) sont reportées sur la figure 2-a. Pour les mesures de gonflement libre, on note une cinétique de gonflement rapide pendant les 7 premiers jours due en grande partie à l'immersion des éprouvettes suivie d'une phase de ralentissement pendant une vingtaine de jours et enfin une accélération des déformations à partir de 30 jours d'immersion. Dans le cas des déformations gênées, il est possible d'après [2] de considérer les déformations de RAG sous étreinte comme des déformations chimiques imposées et, via un calcul élastique (le fluage étant négligé compte tenu des faibles niveaux de contrainte appliqués), remonter aux valeurs de déformations de RAG théoriques sous l'effet du bridage axial. D'après les résultats montrés en figure 2-a, les déformations libres et gênées sont à peu près du même ordre de grandeur jusqu'à une trentaine de jours (de l'ordre de 0,015%) et commencent à diverger au-delà de cette période. Ces résultats sont soutenus par ceux d'EA où la cinétique initiale des courbes représentant le nombre de signaux EA cumulés semble être la même pour toutes les éprouvettes quelles que soient les conditions de déformation (libre ou gênée) à l'exception du capteur 8 où un problème de couplage est suspecté, tandis qu'elle devient plus importante pour les éprouvettes en conditions de déformations gênées après une période d'environ 25 jours. D'après la littérature [2], l'application d'une contrainte déviatorique amplifierait l'anisotropie de gonflement due à la RAG. En effet, le gonflement volumique n'est pas affecté par l'application d'une contrainte mécanique du fait du « report » des expansions dans les directions les moins chargées. Il en résulte alors une anisotropie de l'endommagement dans les éprouvettes en gonflement gêné du fait de l'orientation préférentielle des microfissures se manifestant par une différence de cinétique en termes d'activité acoustique par rapport aux éprouvettes en gonflement libre.

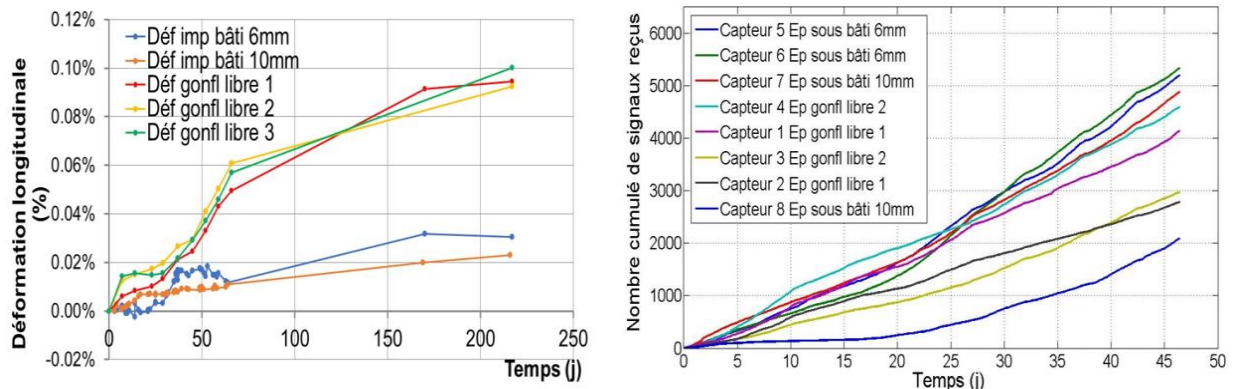


FIGURE 2. Expansions dues à la RAG (a) – Activités acoustiques au cours du temps (b)

III. MONITORING D'UN BLOC DE BETON REACTIF PAR EA

A. Matériaux et méthodes

Dans cette partie, on s'intéresse au monitoring d'un bloc de béton de grandes dimensions ($40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$) par EA. Il s'agit d'une étude menée en parallèle de celle présentée dans le paragraphe II de cet article. Le béton utilisé est confectionné à partir d'un ciment CEM II A-LL 42,5 R produit par Airvaut dosé à 400 kg/m^3 et des mêmes granulats que pour les éprouvettes du paragraphe II, avec un rapport G/S = 1,79. Le rapport E/C est fixé à 0,57. Huit capteurs résonants de type PK15I sont fixés en surface du bloc qui est également immergé dans une eau à $38 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Les évènements acoustiques sont localisés en 3D par triangulation. Les filtres utilisés précédemment sont également appliqués ici. Les déformations au centre du bloc sont relevées à l'aide d'un extensomètre à corde vibrante.

B. Quelques résultats

La figure 3-a présente l'évolution du gonflement au centre du bloc ainsi que celle de l'énergie acoustique en fonction du temps. On note une accélération de la cinétique du gonflement à partir de 100j. La répartition spatiale des évènements dans le bloc sur 3 périodes successives (0-100j, 100-200j et 200-252j) est donnée en figure 3-b. Les évènements se répartissent de façon diffuse et quasi-aléatoire dans la partie centrale du bloc quelle que soit l'échéance, avec une densité plus ou moins uniforme. Les figures 3-c et 3-d présentent respectivement l'évolution de l'amplitude ainsi que celle de la fréquence moyenne des évènements au cours du temps. On note l'apparition d'évènements dont l'amplitude dépasse 70dB et la fréquence moyenne 200 kHz au-delà de 100 j correspondant à l'accélération de la cinétique de gonflement évoquée précédemment. L'amplitude ainsi que la fréquence moyenne semblent alors être des descripteurs paramétriques pertinents pour prédire le développement de la RAG dans le béton contrairement à l'énergie cumulée qui montre moins de sensibilité.

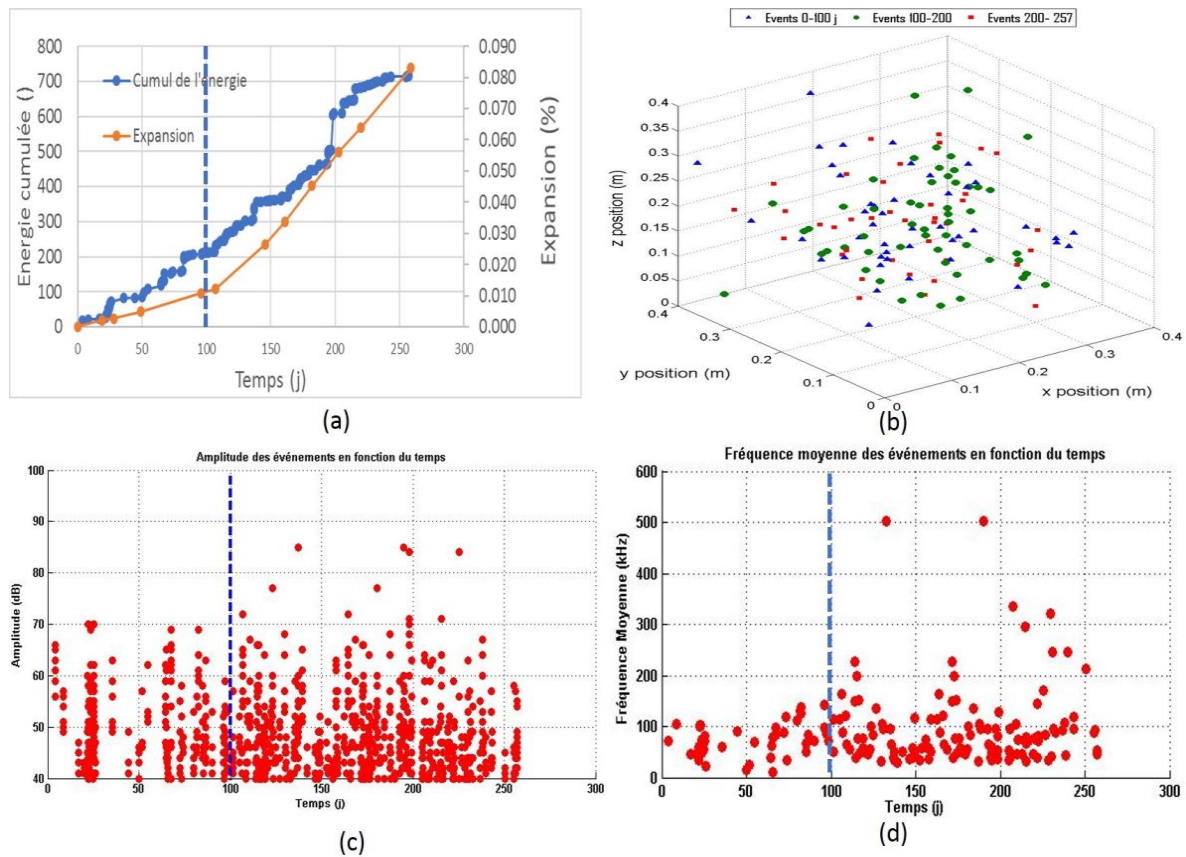


FIGURE 3. Résultats de monitoring par EA d'un bloc de béton atteint de RAG

IV. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de démontrer la pertinence et la robustesse de la technique EA pour la détection ainsi que la caractérisation du développement de la RAG dans les structures en béton. Les résultats mettent en avant une différence au niveau du processus de développement de cette pathologie à l'échelle de la structure en comparaison avec celui d'une éprouvette réactive en gonflement libre [1].

REFERENCES

- [1] Abdelrahman, M., El Batanouni, M., Ziehl, P., Fasl, J., Larosche, C., & Fraczek, J. (2015). Classification of ASR using AE: a proof-of-concept, *Construction & Building Materials*, 95, 406-413.
- [2] Multon, S., & Toutlemonde, F. (2018). Effect of applied stresses on alkali-silica reaction-induced expansions. *Cement & concrete research*, 36(5), 912-920.