

Effet du degré de saturation et de la température sur le comportement mécanique du béton

H. Kallel^a, H. Carré^a, C. Laborderie^a

^aSLAME EA-4581, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France

Keywords : Béton, humidité relative, température, énergie de fissuration, module d'élasticité, résistance à la traction

1 Introduction

Les enceintes de confinement sont sollicitées lors d'un accident grave par la modification thermodynamique du milieu interne qui génère une pression pouvant monter jusqu'à 5 bars, une température évaluée au maximum à 140 °C et une humidité relative pouvant aller jusqu'à la saturation [1]. Au delà de calculs réglementaires, la complexité de la sollicitation nécessite une bonne connaissance du comportement mécanique et thermique des matériaux et en particulier du béton dans la gamme de température et d'hygrométrie imposée afin de mener les simulations numériques les plus réalistes possibles.

Des mesures des propriétés mécaniques de béton sous température contrôlée mais sans contrôle d'humidité [2, 3, 4] et des essais mécaniques sous différentes saturations en eau à la température ambiante existent dans la littérature [5, 6], mais il n'existe pas, à notre connaissance, dans la littérature de mesures des propriétés mécaniques sous température et humidité contrôlés sauf les résultats de Bazant [7] qui a étudié la résistance du béton à l'état sec et saturé à différentes températures.

Il semblait intéressant d'étudier l'évolution des propriétés mécanique du béton en fonction de la température et du degré de saturation en eau, mais pour régler l'humidité relative à des températures supérieures à 100 °C il faut effectuer les expériences à des pressions supérieures à la pression atmosphérique.

L'objectif de cette étude expérimentale est de caractériser l'évolution de l'énergie de fissuration en fonction de la température, du pourcentage de saturation en eau du béton (S_w) et la pression. Dans ce but, l'essai DCT (Disk-shape Compact Tension) [8, 9] a été choisi pour déterminer cette évolution. Les essais mécaniques (essai DCT) sont réalisés sous conditions thermo-hydrauliques contrôlées. Le degré de saturation en eau liquide des éprouvettes est obtenu par le contrôle de l'humidité relative de l'ambiance entourant l'éprouvette [10]. Les cinq degrés de saturation en eau liquide du béton (S_w) varient entre 36 % et 100 %. La température est fixée à cinq valeurs cibles : 30, 90, 110, 140 et 160 °C. Ce choix permet de mesurer l'influence de la température sur le comportement des bétons, tout en respectant les ordres de grandeur des températures de fonctionnement et accidentelles pour les bétons d'enceinte de confinement de centrale nucléaire. Pour les températures 110, 140 et 160 °C les pressions de vapeur saturante équivalentes sont respectivement 1.4, 3.5 et 6 bars

L'influence du degré de saturation et de la température sur le comportement élastique et la résistance à la traction du béton a été testée : cinq valeurs de température ont été testées et les conditions hygrothermiques ont été contrôlées.

2 Résultats expérimentaux

2.1 Énergie de fissuration

L'évolution de l'énergie de fissuration en fonction du degré de saturation en eau des éprouvettes testées à 30, 90, 110, 140 et 160 °C est représentée sur la Figure (1).

On observe deux régimes différents :

- Pour les températures de 30 °C et 90 °C, l'énergie de fissuration diminue avec la saturation, par contre elle n'évolue pas avec la température.
- Pour les températures de 110, 140 et 160 °C, l'énergie de fissuration augmente avec le degré de saturation et également avec la température.

Ces deux régimes ne sont pas complètement expliqués actuellement mais se caractérisent par un comportement différent à la rupture. En particulier les ruptures sont majoritairement transgranulaires pour les faibles températures et intragranulaires pour les fortes températures.

Dans la littérature on a trouvé que l'énergie de fissuration augmente quand la température augmente pour les essais réalisés sous température contrôlée mais sans contrôle d'humidité [2, 3, 4], cela peut être expliqué par deux phénomènes :

- Le rôle de l'eau dans les pores, lorsqu'on chauffe on sèche l'éprouvette : le séchage de ces éprouvettes induit une variation de pression capillaire. La dépression du liquide est globalement équilibrée par une force de compression hydrostatique appliquée sur le squelette solide [11]. A cause de ces contraintes de compression, la propagation de fissures est plus difficile et une énergie plus élevée est nécessaire pour la création de fissures [3]. On a trouvé les mêmes résultats avec les températures de 30 et 90 °C.
- Le rôle de la température qui crée des microfissures à l'interface pâte granulat : ces microfissures consomment de l'énergie avant la création de la macrofissure, et donc une énergie plus élevée est nécessaire pour la création de la macrofissure. Cela peut expliquer l'augmentation de G_f pour les éprouvettes saturées avec les températures 110, 140 et 160 °C.

2.2 Module élastique

L'évolution du module d'élasticité en fonction du degré de saturation en eau des éprouvettes testées à 30, 90, 110, 140 et 160 °C est représentée sur la Figure (2).

On observe une diminution significative du module d'élasticité entre 36 % et 68 % de degré de saturation en eau après une augmentation du module d'élasticité à 95 % et 100 % de degré de saturation en eau. La température aussi a une influence significative sur le module d'élasticité.

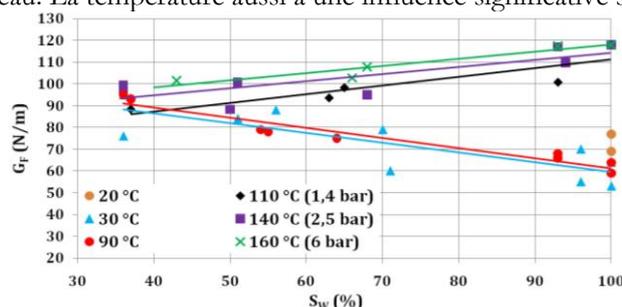


Figure 1: variation de l'énergie de fissuration en fonction du degré de saturation en eau des éprouvettes à 30, 90, 110, 140 et 160 °C

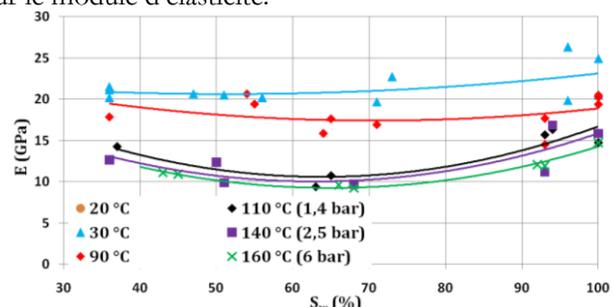


Figure 2: variation de module élastique en fonction du degré de saturation en eau des éprouvettes à 30, 90, 110, 140 et 160 °C

References

- [1] M. Benoit, « Démarche industrielle de compréhension des phénomènes de transferts dans les parois béton », C 31ème rencontre de l'AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31 mai (2013).
- [2] H. Carré, P. Pimienta, bending test at high temperature, 15th International Conference on Experimental Mechanics (2012).
- [3] B. Zhang, Effects of moisture evaporation (weight loss) on fracture properties of high performance concrete subjected to high temperatures. Fire Safety Journal, 46(8), 543-549 (2011).
- [4] J.-C. Maréchal, Le fluage du béton en fonction de la température, Matériaux et Construction 2 (2) (1969).
- [5] S. Popovics, « Effect of Curing Method and Final Moisture Condition on Compressive Strength of Concrete », ACI Journal Proceedings, vol. 83, no 4, (1986).
- [6] Flore BRUE, « rôles de la température et de la composition sur le couplage thermo-hydro-mécanique des bétons ». école centrale de Lille, (2009).
- [7] Z. P. Bazant et C. P. Prat, « Effect of Temperature and Humidity on Fracture Energy of Concrete », ACI Materials Journal, vol. 85, no 4, p. 262-271, juill. (1988).
- [8] A. Amirkhani, D. Spring, J. Roesler, K. Park, et G. Paulino, « Disk-Shaped Compact Tension Test for Plain Concrete », ASCE, p. 66-66 (2011).
- [9] D04 Committee, « Test Method for Determining Fracture Energy of Asphalt-Aggregate Mixtures Using the Disk-Shaped Compact Tension Geometry », ASTM International, (2007).
- [10] S. Poyet, « Experimental investigation of the effect of temperature on the first desorption isotherm of concrete », Cement and Concrete Research, vol. 39, no 11, p. 1052-1059, nov. (2009).
- [11] F. Benboudjema, Modélisation des déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales. Application aux enceintes de confinement de bâtiments réacteurs des centrales nucléaires (Doctoral dissertation, Université de Marne la Vallée) (2002).