
Influence des granulats légers sur le comportement à haute température des bétons de structure

Georges ROUFAEL¹, Javad ESLAMI², Anne-Lise BEAUCOUR³, Dashnor HOXHA⁴, Albert NOUMOUWE⁵

¹ *Université de Cergy-Pontoise, Laboratoire de Mécanique et Matériaux de Génie Civil, 5 Mail Gay-Lussac, Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy-Pontoise cedex, France*

² *Université d'Orléans, Laboratoire Prisme, 8 Rue de Léonard de Vinci, 45072, France*

RÉSUMÉ. Les incendies restent une menace majeure pour les structures en génie civil. Ils ont un grand impact humain, financier et environnemental. Il est donc primordial de comprendre le comportement des matériaux soumis à de hautes températures, afin d'assurer une conception et un dimensionnement plus sûrs des constructions. Ce travail de recherche s'intéresse à la tenue au feu des bétons répondant à des exigences environnementales (performances thermiques élevées – RT 2012), notamment les bétons de granulats légers qui, grâce à leur structure poreuse, améliorent la capacité d'isolation des éléments de structure en béton et permettent de limiter les déperditions thermiques globales du bâtiment.

ABSTRACT. Fire remains a major threat to civil engineering structures. It has a big impact on human lives, finance and environment. It is therefore important to understand the behavior of materials subjected to high temperature in order to ensure safer design for constructions. This research focuses on the fire resistance of concretes meeting environmental requirements (high thermal performance - RT 2012), especially lightweight aggregate concretes, which thanks to their porous structure improve the insulating capacity of concrete structural elements and allow limiting the overall heat loss of the building.

MOTS-CLÉS: feu, haute température, béton léger, granulats légers.

KEYWORDS: fire, high temperature, lightweight concrete, lightweight aggregates.

1. Introduction

Les premiers granulats légers utilisés dans la construction par les romains étaient des granulats naturels issus des roches volcaniques, comme la pierre ponce. Au début du XX^{ème} siècle, d'autres types de granulats légers ont été fabriqués en utilisant des matières premières naturelles comme l'argile, le schiste et l'ardoise. En raison de sa faible masse volumique, le béton léger est utilisé dans la construction de stades, de ponts à grandes portées et même de plates-formes offshore. D'autre part, ce type de béton peut être utilisé pour répondre aux enjeux environnementaux du XXI^{ème} siècle en optimisant la consommation énergétique dans le bâtiment grâce à ses propriétés thermiques isolantes. Ce travail de recherche s'intéresse à la tenue au feu des bétons de granulats légers notamment en argile expansée afin d'assurer une conception et un dimensionnement plus sûrs pour les personnes et les biens.

2. Formulations et démarches

Afin de savoir si le comportement à haute température de ces bétons structuraux à propriétés isolantes s'écarte de celui des bétons de granulats ordinaires, quatre formulations sont étudiées, dont deux bétons avec de l'argile expansée (AM et AR), un béton de référence avec du calcaire noir (BR) et un mortier. Deux granulats d'argile expansée sont étudiés, ayant des masses volumiques réelles différentes, 780 kg/m³ pour l'un (AR) et 1270 kg/m³ pour l'autre (AM). Les trois formulations de béton ont la même matrice cimentaire (E/C=0.45) et la même fraction volumique de gravillons tandis que le mortier a la même formulation que la matrice cimentaire des trois bétons. Il est ainsi possible d'identifier et d'isoler les comportements exclusifs des gravillons légers. Les bétons testés ont des résistances à la compression à 28 jours variant entre 30 MPa pour AR et 45 MPa pour AM et BR pour des masses volumiques sèches respectives de 1650, 1850 et 2260 Kg/m³. Les éprouvettes ont été stockées dans des sacs en plastique et des chiffons humides pour 90 jours. Les différents essais mécaniques et physiques ont été réalisés après un chauffage à 1°C/min suivi d'un palier isotherme de 2 heures (150°C, 300°C, 450°C et 600°C).

3. Résultats

3.1. Evolution des propriétés physiques et de la fissuration avec la température

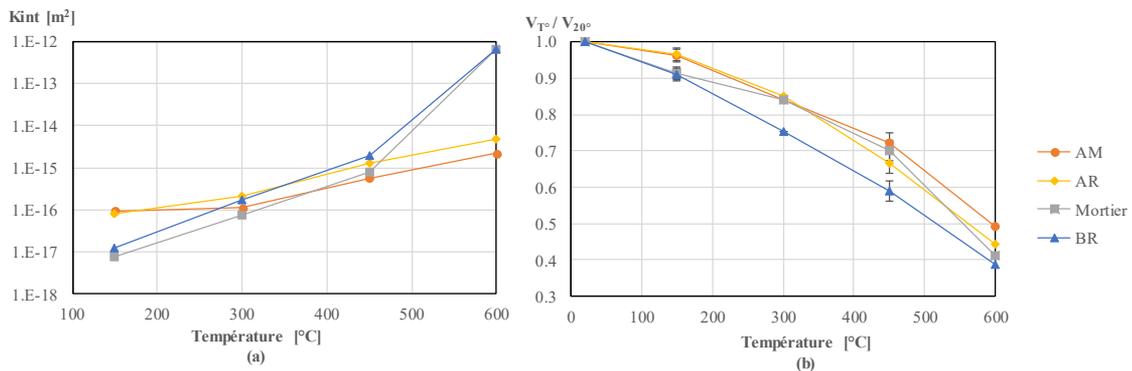


Figure 1. Evolution de la perméabilité(a) et la vitesse des ondes(b) des bétons en fonction de la température

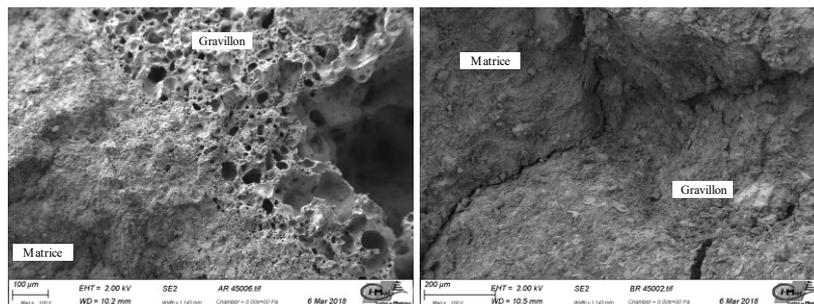


Figure 2. Interface pate-granulat de béton chauffé à 450°C et observé au MEB (AR à droite et BR à gauche)

La perméabilité au gaz (azote) des bétons a été mesurée sur des disques de 15 cm de diamètre et 5 cm d'épaisseur en utilisant un dispositif Cembureau [KOL 89]. Pour chaque palier de température, 2 échantillons ont été testés.

Afin d'obtenir la perméabilité intrinsèque K_{int} , l'approche de Klinkenberg [KLI 41] a été adoptée en appliquant chaque fois 4 à 5 pressions d'injection différentes. Les résultats de ces mesures représentés par la *figure.1 (a)*, montrent que le béton de référence et le mortier sont moins perméables que les bétons légers à 150°C. A 300°C, les perméabilités du béton de référence et du mortier sont multipliées par 10 et rejoignent celle des bétons légers alors que cette dernière subit une augmentation très légère. A 600°C, l'augmentation de la perméabilité est plus importante pour le béton de référence et le mortier (10^{-12} m^2) que pour les bétons légers ($10^{-15} \text{ m}^2 < K_{int} < 10^{-14} \text{ m}^2$). Selon les travaux de [CAR 16] la perméabilité du béton ordinaire augmente jusqu'à 10^{-13} m^2 à 600°C, ce qui est plus élevé que 10^{-14} m^2 mesuré pour les bétons légers. L'augmentation de la perméabilité avec la température est liée à la dégradation de la matrice cimentaire générant des microfissures comme le révèle la mesure des vitesses des ondes (*figure.1-b*) réalisée sur des éprouvettes 11Φ22 cm. L'évolution relative des vitesses d'ondes confirme les résultats précédents en suivant la même tendance que l'évolution de la perméabilité. Le mortier se comporte comme les bétons légers jusqu'à 450°C, tandis que la vitesse chute plus rapidement dans le béton de référence. A 600 °C, la vitesse d'ondes diminue jusqu'à 60% dans ce béton de référence en comparaison des 50% et 45% mesurés sur les bétons légers. Afin de bien comprendre l'origine de cette augmentation de perméabilité, les mesures précédentes ont été couplées à des observations au microscope optique et au microscope électronique à balayage. Il a été constaté que l'interface pâte-granulat est plus dégradée à 450°C pour le béton de référence que pour les bétons légers (*figure.2*). De plus, l'observation à l'œil nu et au microscope optique des bétons chauffés à 600°C (*figure.3*) montre que la majorité des fissures dans les bétons légers sont transgranulaires tandis que les fissures dans le béton de référence passent dans la zone interfaciale entre la pâte et le granulat. La liaison pâte-granulat est plus résistante avec les granulats légers poreux qu'avec les granulats calcaires [Ke 14].

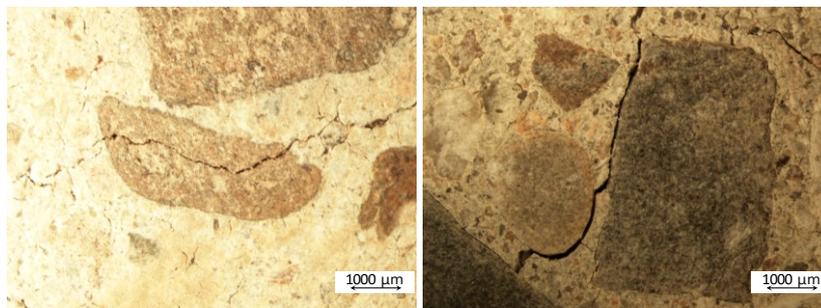


Figure 3. Fissures dans les bétons AM (à gauche) et BR (à droite) chauffés à 600°C

4. Propriétés Mécaniques

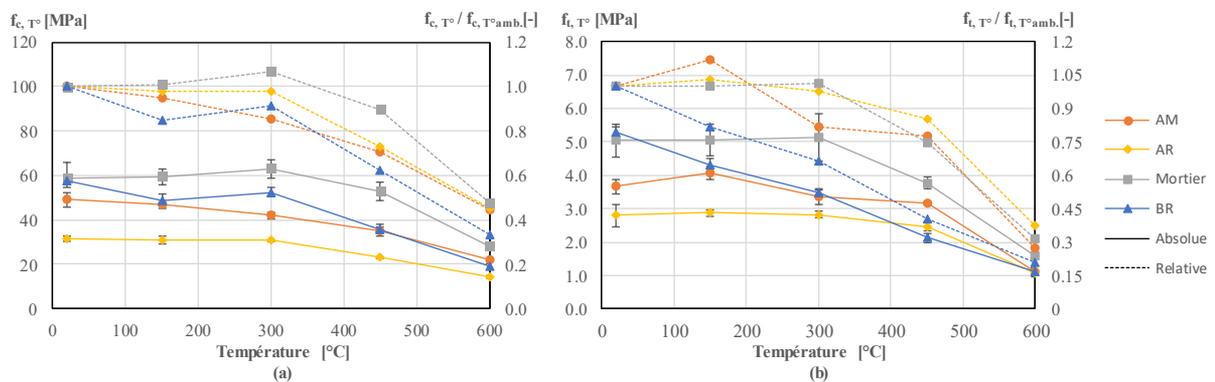


Figure 4. Evolution des résistances résiduelles absolues et relatives en compression (a) et en traction par fendage (b) des bétons en fonction de la température

La résistance à la compression diminue légèrement pour les bétons de granulats légers à 300°C tandis que pour « BR » elle diminue à 150°C puis remonte d'environ 10% à 300°C. Cette variation entre 150 et 300°C est généralement observée pour les bétons de granulats naturels et peut s'expliquer par l'hydratation du ciment anhydre due à la migration d'eau des pores [DIA 90]. D'autre part, une légère augmentation de 10% est constatée pour le mortier à 300°C. Après ce palier, la résistance diminue rapidement pour tous les bétons mais d'une manière plus modérée pour les bétons légers que pour le béton de référence, qui perd jusqu'à 70 % de sa résistance, soit 20 % plus de perte en comparaison avec les autres bétons.

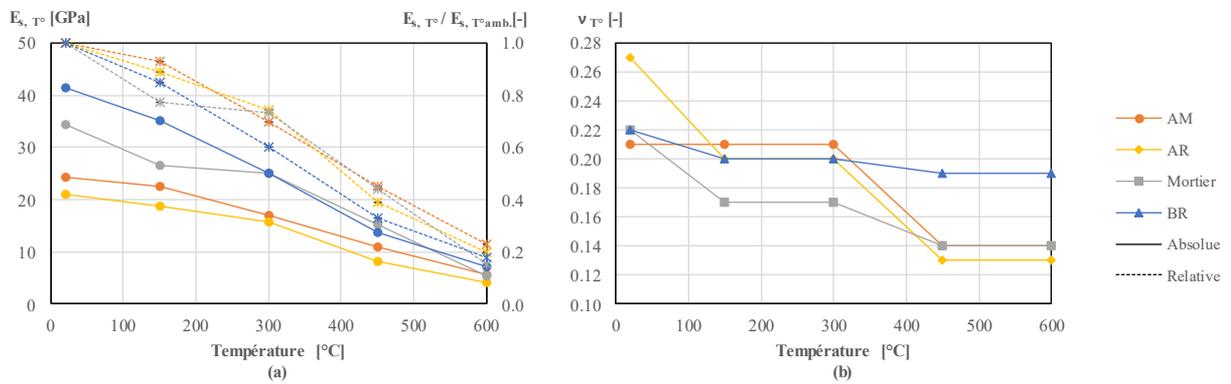


Figure 5. Evolution du module d'Young statique résiduel (a) et du coefficient de Poisson résiduel (b) des bétons en fonction de la température

La différence de comportement entre les bétons légers et le béton de granulat calcaire est encore plus notable sur l'évolution de la résistance à la traction. Cela peut s'expliquer par la bonne résistance de l'interface pâte-granulat léger (figures.2&3) lors de la sollicitation thermique liée à une auréole de transition moins poreuse et une plus faible dilatation thermique des granulats légers par rapport aux granulats calcaires [UYG 09]. Le module d'Young statique diminue plus linéairement avec la température. A 600°C, il diminue de 77% pour les bétons légers et de 83% pour le béton de référence et le mortier. Des tendances et des pertes similaires des résistances mécaniques ont été constatées par [TOR 16]. D'autre part, le coefficient de Poisson subit une chute importante après 300°C pour les bétons légers tandis que celui du béton de référence subit une diminution légère sans être trop affectée par la température.

5. Conclusion

A une vitesse de chauffage lente, 1°C/min, les effets hydriques et les gradients thermiques ont été réduits. Dans ces conditions, les bétons légers ont montré une perte de résistance et de perméabilité plus modérée que le béton de référence. D'autre part, les observations au MEB et au microscope optique ont montré une répartition et un chemin de fissuration différents selon la nature des granulats : intergranulaire pour les bétons de granulats calcaire et transgranulaire pour les bétons d'argile expansée.

6. Bibliographie

- [CAR 16] CARRE H., PERLOT C., DAOUD A., MIAH J., BAIDI B., 2016. "Durability of Ordinary Concrete after Heating at High Temperature." *Key Engineering Materials* 711 (September): 428–35. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.711.428.
- [DIA 90] DIAS W., KHOURY G., SULLIVAN P., 1990. "Shrinkage of Hardened Cement Paste at Temperatures up to 670 C (1238 F)." *ACI Materials Journal* 87 (87): 204–9. doi:10.14359/1981.
- [KE 14] KE Y., ORTOLA S., BEAUCOUR A.L., DUMONTET H., 2014. "Micro-Stress Analysis and Identification of Lightweight Aggregate's Failure Strength by Micromechanical Modeling." *Mechanics of Materials* 68 (January). Elsevier: 176–92. doi:10.1016/J.MECHMAT.2013.09.005.
- [KLI 41] KLINKENBERG L., 1941. "The Permeability Of Porous Media To Liquids And Gases." *Drilling and Production Practice*. New York, New York: American Petroleum Institute.
- [KOL 89] KOLLEK J., 1989. "The Determination of the Permeability of Concrete to Oxygen by the Cembureau Method—a Recommendation." *Materials and Structures* 22 (3). Springer Netherlands: 225–30. doi:10.1007/BF02472192.
- [TOR 16] TORIĆ N., BOKO I., JURADIN S., BALOEVIĆ G., 2016. "Mechanical Properties of Lightweight Concrete after Fire Exposure." *Structural Concrete* 17 (6): 1071–81. doi:10.1002/suco.201500145.
- [UYG 09] UYGUNOGLU T., TOPÇU İ., 2009. "Thermal Expansion of Self-Consolidating Normal and Lightweight Aggregate Concrete at Elevated Temperature." *Construction and Building Materials* 23 (9): 3063–69. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.04.004.