

# Effet du sable de rivière sur le comportement à haute température du béton de gneiss

Japhet TIEGOU M WEMBE<sup>1,2</sup>, Prosper PLIYA<sup>1</sup>, Javad ESLAMI<sup>1</sup>, Luc Leroy MAMBOU NGUEYEP<sup>2</sup>, Albert NOUMOWE<sup>1</sup>, et Jean-Marie Bienvenu NDJAKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CY Cergy Paris Université, Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil (L2MGC), 5 Mail Gay Lussac, Neuville-Sur-Oise, F-95000 Cergy-Pontoise Cedex, France,

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences des Matériaux, Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé 1, P.O. Box 812, Cameroun.

**RESUME** L'objectif de ce travail est d'analyser le comportement à haute température de béton contenant uniquement des granulats de gneiss (BSGG) et de béton obtenu en remplaçant le sable de gneiss par du sable de rivière de Sanaga (BSGS). Les éprouvettes issues de ces compositions de béton ont été soumises à différents cycles de chauffage-refroidissement de 150°C, 300°C, 450°C et 600°C. La vitesse de chauffage est de 1°C/minute. La résistance à la compression et la porosité des bétons sont déterminées à la température ambiante et après les différents cycles de chauffage-refroidissement. Les premiers résultats montrent que les deux bétons présentent des propriétés similaires à la température ambiante. Pour le béton de sable de rivière, il est remarqué une baisse de la résistance à la compression en fonction de la température. Par contre, pour le béton contenant uniquement le sable de gneiss, une légère augmentation de la résistance à la compression résiduelle pour les températures de 150°C et 300°C est constatée.

**Mots-clefs :** Béton; Température; Granulats Concassés de Gneiss; Sable de Rivière.

## I. INTRODUCTION

Les granulats de carrière sont beaucoup plus utilisés dans le domaine de la construction des bâtiments et des ouvrages de travaux publics. Les granulats constituent environ 60-80% du volume d'un béton. Pour des raisons d'ordre environnemental, l'utilisation du sable de rivière devient de plus en plus limitée dans certains pays. Le sable de carrière est préconisé comme substitution au sable de rivière. Des études réalisées par Benyamina et al (Benyamina et al, 2019) ont montré qu'une substitution en dessous de 65% en volume du sable de rivière par le sable de carrière permet de conserver les propriétés du béton à la température ambiante. Des études ont porté sur l'influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement à haute température des bétons. On peut citer entre autres les travaux de Xing et al (Xing et al, 2014) sur le comportement des granulats calcaires, silico-calcaires et siliceux dans les bétons; ainsi que les travaux de Tchapgá et al (Tchapgá et al, 2019) sur les granulats de gneiss de la carrière d'Eloudem (Cameroun). Le comportement à haute température de béton constitué de granulats de carrière avec le sable de rivière a fait l'objet de peu d'études. Ce travail vise à analyser l'influence de la nature du sable (sable de carrière ou de rivière) sur le comportement de bétons contenant des gravillons et graviers de gneiss.

## II. PROGRAMME EXPERIMENTAL

### II.1 Matériaux et composition

Les granulats de carrière utilisés dans le cadre de ce travail proviennent de la carrière de GRACAM située au Cameroun. Le sable de gneiss, les gravillons et graviers présentent respectivement une classe granulaire de 0/5, 5/15 et 15/25. Le sable de rivière, issu du fleuve Sanaga présente une classe granulaire de 0/5 mm. Les densités absolues des granulats sont respectivement de 2.67, 2.87, 2.86 et 2.57 pour le sable Sanaga, sable de gneiss, gravillons de gneiss 5/15 et graviers de gneiss. La substitution de sable est faite à volume constant. Le sable de carrière présente une densité plus importante que celle du sable de rivière ce qui entraîne une variation de masse dans la composition de béton. La composition chimique des granulats réalisée par spectrométrie par Elat et al (Elat et al, 2020) indique une teneur en silice respective de 62,5% et 90,2% pour le sable de Gneiss et le sable Sanaga.

Le ciment utilisé est du portland CEM II/B-P 42.5R de Dangoté (Cameroun). Le ciment a une masse volumique de 3100 kg/m<sup>3</sup> avec une résistance à la compression de 55 MPa à 28 jours.

Deux formulations de béton ont été réalisées avec un rapport eau/ciment de 0,54. La première formulation de béton (BSGG) est composée uniquement de granulats de carrière de type gneiss, et dans la seconde formulation, le sable de gneiss est remplacé par du sable de rivière (BSGS). Le volume de la pâte cimentaire est constant pour les deux compositions. La composition des bétons est détaillée dans le tableau 1.

**TABLEAU 1. Composition des bétons**

Composition (kg/m <sup>3</sup> )	BSGS	BSGG
Ciment	375	375
Sable [kg]	680	729
Gravillons 5/15	579	579
Graviers 15/25	560	560
Affaissement [cm]	11	10
<b>Masse volumique [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>2469</b>	<b>2518</b>

Les éprouvettes cylindriques de dimensions 11 x 22 cm (diamètre x hauteur) sont confectionnées puis conservées dans leurs moules en carton durant 24 heures. Elles sont ensuite démoulées et conservées dans des sacs plastiques étanches dans une salle à température 20 ± 2 °C et humidité relative moyenne égale à 70 ± 10%. Les tests sont effectués à partir de 90 jours.

### II.2 Essais réalisés

Cycle de chauffage-refroidissement : Les éprouvettes sont soumises à des cycles de chauffage-refroidissement de la température ambiante à 150°C, 300°C, 450°C et 600°C dans un four électrique. Chaque cycle est composé de trois phases : la première phase est caractérisée par une montée en température à la vitesse de 1°C/minute jusqu'à la température de consigne ; durant la seconde phase les éprouvettes sont maintenues à la température de consigne durant deux heures et, enfin la troisième phase, phase de refroidissement, est réalisée à la vitesse théorique de -1°C/minute jusqu'à la température ambiante.

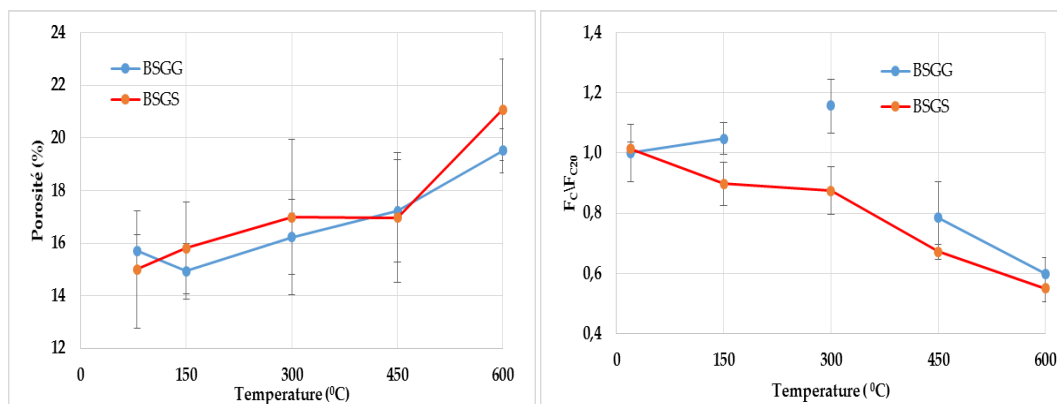
Résistance à la compression : la compression uni-axiale est réalisée sur trois éprouvettes cylindriques 11 x 22 cm à la vitesse de chargement de 0,5 MPa.s<sup>-1</sup> jusqu'à la rupture conformément à la norme NF EN 12390-324.

Porosité : l'éthanol est utilisé afin de limiter tout risque de réhydratation des éprouvettes chauffées. La porosité est obtenue sur huit échantillons d'une masse moyenne minimale chacune de 100 g. Le test est réalisé conformément à la norme NF P 18-459.

### III RESULTATS

#### III-1 Porosité

La courbe d'évolution de la porosité en fonction de la température est présentée sur la figure 1 (gauche). Après séchage à 80°C, la porosité est respectivement de  $15.7 \pm 0.6\%$  et  $15.0 \pm 2.2\%$  pour BSGG et BSGS. La porosité varie très peu entre les deux bétons à 80 °C. Après 80 °C, les bétons présentent une même allure d'évolution de la porosité jusqu'à la température de 600°C. Une faible variation de la porosité est remarquée jusqu'à la température de 450°C ( $17.22 \pm 1.9\%$  pour le BSGG et  $16.97 \pm 2.5\%$  pour le BSGS). Les travaux de Razafinjato et al (Razafinjato et al, 2015) effectués sur un béton ordinaire contenant des granulats de granite présentent des résultats similaires. Cette faible variation peut être aussi liée à la déshydratation des silicates de calcium hydraté. Au-delà de 450°C, un accroissement rapide de la porosité est observé. Cela pourrait être dû à la décomposition de la portlandite et aux transformations allotropiques de quartz  $\alpha$  en quartz  $\beta$ . Les sables de rivière et de carrière contiennent des proportions en silice de 90% et de 60%. Costa et al (Costa et al, 2021) montrent que pour des roches de gneiss soumises à un cycle de chauffage-refroidissement (vitesse de chauffage à 2°C/min) une variation de la porosité de 1.0% (100°C) à 9.24% (1100°C) est constatée, soit une augmentation totale de 8.2%.



**FIGURE 1.** Evolution de la porosité (à gauche) et celle de la résistance résiduelle relative à la compression (à droite) en fonction de la température.

#### III- 2 Résistance résiduelle à la compression

L'évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des deux bétons est présentée à la figure 1 (droite). A la température ambiante, la résistance à la compression des bétons BSGG et BSGS est respectivement de  $31.5 \pm 3$  MPa et  $33.0 \pm 0.7$  MPa. Les résultats montrent une même résistance à la température ambiante et corroborent ceux de la porosité. Avec le chauffage, la résistance résiduelle baisse en fonction de la température. A 300°C, la résistance du béton BSGS est de  $28.9 \pm 2.6$  MPa tandis que celle du béton BSGG est de  $36.4 \pm 2.8$  MPa. Pour le BSGG, cela représente un gain de résistance de 16%. Les travaux de Costa et al (Costa et al, 2021) obtiennent des résultats similaires sur la roche de gneiss: une augmentation de la résistance à partir de 100°C jusqu'à 400°C d'une valeur de 24%. Ce gain de résistance obtenu sur le BSGG est beaucoup plus lié à la réaction entre le ciment et les minéraux présents dans le sable de gneiss à haute température. D'autres auteurs comme Hachemi et al (Hachemi et al, 2017) ont investigué sur des bétons confectionnés avec des sables siliceux et silico-calcaire pour un rapport E/C=0,42. Ils ont obtenu une augmentation de 7%. La vitesse de chauffage des échantillons cubiques  $100 \times 100 \times 100$  mm<sup>3</sup> était de 3°C/min et le palier d'une heure. De plus, Tchapgá et al (Tchapgá et al, 2019) ont déterminé la résistance à la compression sur deux bétons confectionnés avec le même granulats de gneiss d'Eloudem mais avec différents types de sable à savoir du sable de gneiss et du sable de

rivière. Ils ont observé des gains de résistance à 300°C de 6% et 5% respectivement pour le sable de gneiss et le sable de rivière. La vitesse de chauffage était de 4°C/min et le palier d'une heure. Le rapport E/C de ces bétons était de 0,47. Cependant, au-delà de 300°C jusqu'à 600°C, une diminution sévère de la résistance à la compression a été observée pour tous les bétons. A 600°C, les deux bétons ont presque la même résistance.

Au regard de nos résultats, la porosité des bétons BSGG et BSGS augmente pendant que leur résistance diminue. On remarque que l'évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des deux bétons de granulats de gneiss jusqu'à 600 °C va en faveur du béton BSGG confectionné avec du sable de carrière qui se dégrade moins rapidement (60%) que le béton BSGS (55%) confectionné avec du sable de rivière.

#### IV CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence du sable de carrière et du sable de rivière sur des bétons de gneiss soumis à des températures élevées. En observant l'évolution de la porosité et de la résistance résiduelle à la compression des deux bétons, il est constaté qu'il n'y a pas de variation significative à 80°C. Une légère variation de la porosité est constatée entre 80°C et 450°C. Cependant, concernant les résistances résiduelles à la compression, on observe une baisse significative de cette dernière de la température ambiante jusqu'à 300°C. La substitution du sable de carrière de gneiss par du sable de rivière a abouti au BSGG dont le comportement résiduel est meilleur que celui du BSGS ne contenant que du sable de carrière de gneiss. Nous envisageons d'étudier l'évolution des propriétés thermiques et thermomécaniques telles que la conductivité thermique, la chaleur massique, le coefficient de dilatation thermique lorsqu'on remplace le sable de carrière par du sable de rivière dans de tels bétons.

#### V REFERENCES

- XING, Zhi, HÉBERT, Ronan, BEAUCOUR, Anne-Lise, *et al.* (2014). Influence of chemical and mineralogical composition of concrete aggregates on their behaviour at elevated temperature. *Materials and structures*, vol. 47, no 11, p. 1921-1940.
- RAZAFINJATO, R. Nirry, BEAUCOUR, A. L., HÉBERT, R. L., *et al.* (2014) Comportement à haute température des bétons de granulats naturels siliceux et calcaires. 32èmes rencontres universitaires de l'AUGC Orléans (France).
- HACHEMI, S. et OUNIS, A. (2017). L'influence de la nature du sable sur les propriétés physiques et mécaniques du béton soumis à haute température. *Courrier du Savoir*, vol. 24.
- Tchapga Gnamsi Guy Molay, Mambou Ngueyep Luc Leroy, FIDELE, Tchoffo, *et al.* (2019). Mechanical and physical performances of concretes made from crushed sands of different geological nature subjected to high temperatures. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, no 4, p. 1116-1124.
- BENYAMINA, Smain, MENADI, Belkacem, BERNARD, Siham Kamali, *et al.* (2019) Performance of self-compacting concrete with manufactured crushed sand. *Advances in concrete construction*, vol. 7, no 2, p. 87.
- ELAT, Emmanuel, PLIYA, Prosper, PIERRE, Alexandre, *et al.* (2020) Microstructure and Mechanical Behavior of Concrete Based on Crushed Sand Combined with Alluvial Sand. *Civil Eng*, vol. 1, no 3, p. 181-197.
- COSTA, K. O. B., XAVIER, G. C., MARVILA, M. T., *et al.* (2021) Influence of high temperatures on physical properties and microstructure of gneiss. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 80, no 9, p. 7069-7081.