

---

# Comportement à haute température des granulats naturels siliceux et calcaires et leur influence sur celui du béton

Rijaniaina, Niry Razafinjato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil (L2MGC) EA 4114, Université de Cergy-Pontoise, 5 mail Gay-Lussac, 95031 Neuville-sur-Oise ; e-mail : [rniry-raz@u-cergy.fr](mailto:rniry-raz@u-cergy.fr)

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

---

*RÉSUMÉ. Le comportement thermique de différentes natures de granulats a été étudié en amont afin d'en sélectionner quatre dont deux de nature siliceuse : un granite et un silex ; et deux de nature calcaire : un calcaire dense de couleur noire et un calcaire poreux de couleur blanche. Ces granulats serviront pour la confection de bétons ordinaires (C30/37) et à hautes performances (C70/85). Portés à haute température suivant des cycles de chauffage puis refroidissement (jusqu'à 750 °C), le suivi de l'évolution des propriétés physiques, mécaniques, et thermiques des bétons permettra d'appréhender l'influence de la nature du granulat sur le comportement thermique des bétons. Au vu des résultats obtenus, la composition minéralogique des granulats semble avoir un impact sur leurs stabilités thermiques à haute température et influe logiquement sur celles des bétons. Des hypothèses sont ainsi avancées afin d'apporter des éclaircissements sur la nature et l'occurrence des endommagements observés en fonction de la matrice cimentaire (ordinaire ou hautes performances) et des granulats utilisés.*

*ABSTRACT. The thermal behaviour of different natures of aggregates has been studied earlier to select four of them including two siliceous: granite and flint; and two calcareous: a dense black limestone and a porous white limestone. These aggregates are used to cast ordinary concrete (C30/37) and high performance concrete (C70/85). Subjected to high temperature within a heating and cooling cycle (up to 750 °C), the evolution of physical, mechanical and thermal properties of concrete will help decipher the influence of the nature of the aggregate on the thermal behaviour of concrete. From these results, the mineralogical composition of aggregates seems to impact the thermal stability at high temperature and influences logically on those of concrete. Some assumptions are proposed in order to provide clarification on the nature and occurrence of degradations observed in terms of the cementitious matrix (ordinary or high performance) and the aggregates used.*

*MOTS-CLÉS : granulats, siliceux, calcaires, béton, haute température, caractérisation.*

*KEY WORDS: aggregates, siliceous, calcareous, concrete, high temperature, characterization.*

---

## 1. Introduction

Les structures en béton peuvent être sujettes à des risques d'incendie ou à une exposition à une température élevée. Les bâtiments industriels, les parkings, les tunnels ou encore les stockages de produits radioactifs font partis des ouvrages les plus susceptibles de subir des sollicitations thermiques importantes. Les granulats constituent environ 70 % du volume du béton. Plusieurs paramètres sont considérés dans les calculs de structures tels que le choix de la nature du granulat dont les catégories proposées par l'Eurocode 2 : Partie 1-2 (NF EN 1992-1-2) sont les types « siliceux » et « calcaires ».

Une étude préalable sur le comportement thermique des granulats a été réalisée en amont [NIR 13 ; NIR 14] et a montré la diversité de la nature minéralogique et de la stabilité thermique de ces derniers. Dans la catégorie siliceuse, l'instabilité thermique de certains types de granulats dont le silex est observé à partir 300 °C [KHO 00 ; SCH 13]. Comparé à d'autres types de granulat de la même catégorie comme la quartzite, le basalte ou le granite, la structure du silex comprend des groupements silanols Si-OH qui peuvent être à l'origine d'instabilité thermique [VER 05 ; XIN 13]. Parmi les granulats calcaires, la dégradation microstructurale semble dépendre de la microstructure du granulat [HOM 84] : en effet, les calcaires sparitiques et oolitiques sont ceux qui présentent des fissures plus ouvertes que les calcaires micritiques au-delà de 500 °C. De 700 à 900 °C, les granulats calcaires subissent une décarbonatation. La réhydratation avec l'humidité de l'air ambiant conduit à une dégradation de la surface des granulats et une augmentation de 44 % en volume [HAG 13]. De plus, la taille des granulats peut également influencer leur comportement : une taille de granulat plus grande peut amener à plus d'instabilité thermique [CON 95 ; HOM 84].

Dans une perspective de gestion, d'amélioration et d'optimisation du choix des ressources naturelles dans la construction, l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG) et le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) s'intéressent à la qualité des granulats mais aussi à leurs performances dans les bétons soumis à des contraintes thermiques importantes. Soucieux de la durabilité des bétons, ils ont apporté leur appui au développement d'un projet de recherche sur la stabilité thermique des granulats et leur influence sur le comportement thermo-mécanique des bétons soumis à haute température. Quatre granulats ont été sélectionnés pour confectionner les bétons. Deux granulats sont de nature siliceuse : le granite et le silex ; et deux de nature calcaire : un calcaire de couleur noire et un calcaire de couleur blanche. Divers aspects vis-à-vis de leurs comportements à haute température sont mis en relation avec les comportements thermiques des granulats. La description du protocole expérimental englobera les formulations de bétons réalisés, les paramètres de contrainte thermique et les conditions dans lesquelles elles sont appliquées. Les résultats et les observations seront exposés et commentés avant de conclure et de proposer les perspectives de cette étude.

## 2. Protocole expérimental

Les propriétés physiques et la composition minéralogique des granulats sont données au Tableau 1. Des éprouvettes en béton de taille 11Ø22 cm et 15Ø30 cm (NF EN 12390-1) sont confectionnées en adéquation avec le tableau de formulation (cf. Tableau 2). Elles sont par la suite conditionnées jusqu'à au moins 90 jours de maturation suivant les recommandations de la RILEM [RIL 95] avant de subir des traitements thermiques. Les propriétés physiques résiduelles dont la porosité et la densité (NF P 18-459) ainsi que les propriétés mécaniques résiduelles dont la résistance en compression (NF EN 12390-3) et le module d'Young [TOR 99] sont évaluées. Ces propriétés sont déterminées à température ambiante et après des cycles de chauffage / refroidissement à 0,5 °C / min jusqu'à une température de palier à l'aide d'un four électrique. Les paliers à 300, 450, 600 ou 750 °C sont maintenus pendant 2h pour s'assurer de l'homogénéisation de la température dans les éprouvettes. Des thermocouples sont placés en surface et au centre des éprouvettes afin d'avoir un suivi de la montée en température ainsi que du gradient thermique. L'évolution de la fissuration en surface est observée pour chaque type de béton à 450, 600 et 750 °C. Les propriétés thermiques qui englobent la conductivité, la diffusivité et la capacité thermique massique sont déterminées à chaud à l'aide de l'appareillage Hot-Disk équipé d'un four spécifique piloté par le logiciel de l'appareil. Les principes de mesure sont basés sur la méthode de la source plane transitoire (TPS) [GUS 91] : les paliers de température de 150, 225 et 300 °C sont maintenus successivement jusqu'à stabilisation de la température pendant au moins 2h.

Dans la suite, les dénominations suivantes seront couramment utilisées : « HSC » pour désigner les bétons à hautes performances ; « OC » pour désigner les bétons ordinaires ; « -X ; -G ; -N ; -B » : pour désigner respectivement les granulats de silex, de granite, de calcaire noir et de calcaire blanc.

**Tableau 1.** Densité et porosité et composition minéralogique des granulats [NIR 13].

Granulats	CalcaireNoir -N	CalcaireBlanc-B	SileXmarron-X	Granite rouge -G
Densité	2,62 ± 0,11	2,52 ± 0,05	2,53 ± 0,06	2,55 ± 0,05
Porosité [%]	1,70 ± 0,60	6,67 ± 1,13	1,40 ± 0,70	1,70 ± 0,50
Composition minéralogique et texture	Calcaire détritique Teneur en quartz : 9-13 %.	Calcaire lithographique (micritique)et calcaire oolithique Teneur en quartz < 1%	Silice 100 %. Texturecryptocristalline	Quartz, mica, feldspath. Textureéquigranulaire

**Tableau 2.** Formulation des bétons.

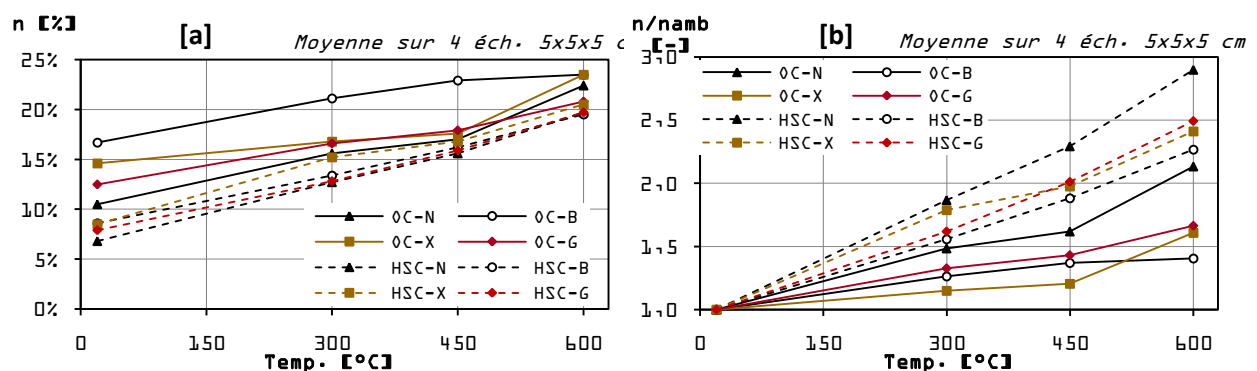
Nomenclature des bétons	Béton Ordinaire (OC) - C30/37				Béton Hautes performances (HSC) - C70/85			
	OC-N	OC-B	OC-X	OC-G	HSC-N	HSC-B	HSC-X	HSC-G
Nature minéralogique du gravillon	Calcaire		Siliceuse		Calcaire		Siliceuse	
	Noir	Blanc	SileX	Granite	Noir	Blanc	SileX	Granite
C - Ciment CEM I 52,5 [kg]	360	360	360	360	500	500	500	500
G - Gravillon(4 / 20) [kg]	1051	1 019	1 002	1 033	1 049	1 018	1 035	1 033
S - Sable* (0 / 4) [kg]	656	656	672	623	711	711	694	677
V <sub>G</sub> +V <sub>S</sub> [m <sup>3</sup> ]	0,667	0,667	0,667	0,667	0,689	0,689	0,689	0,689
Rapport E <sub>eff</sub> /C	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3

\* Un sable silico-calcaire (70 % de quartz, 24 % de calcaire et 5 % de grès) est utilisé pour toutes les formulations.

### 3. Résultats

#### 3.1. Porosité résiduelle

La Figure 1 décrit l'évolution de la porosité résiduelle des bétons. A température ambiante, les valeurs de porosité des bétons sont proportionnelles à celles des granulats et sont plus regroupées pour les HSC. Les OC montrent une évolution de la porosité moins importante que les HSC. A 600 °C, la valeur de la porosité est pratiquement doublée pour les OC et est presque trois fois plus importante pour les HSC. L'évolution avec la température est plus prononcée après le cycle à 600 °C pour les bétons OC-X et OC-N. Les bétons -N ont une augmentation de porosité relativement plus importante que les autres bétons. Les bétons -G et -X ont une évolution plus ou moins similaire.

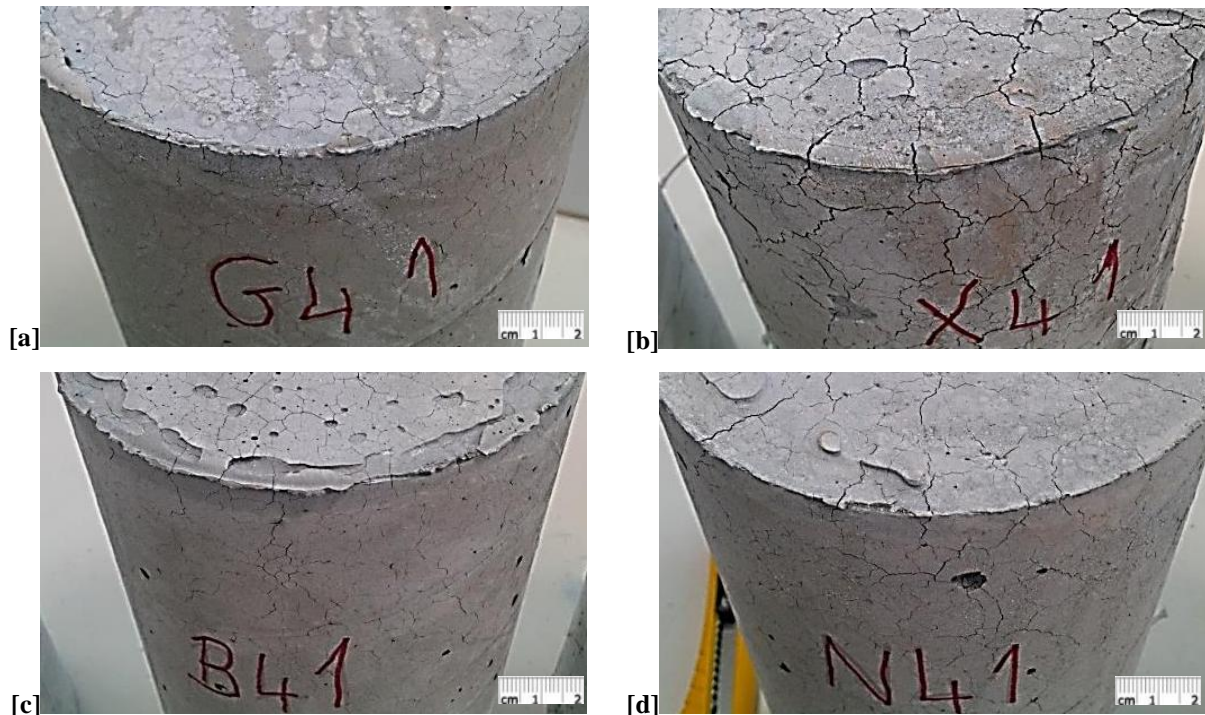
**Figure 1.** Porosité résiduelle [a] absolue et [b] relative des bétons.

#### 3.2. Etudes de la fissuration

La zone d'interface pâte-granulat est considérée comme le point faible du béton. En effet, cette zone de forte porosité joue un rôle important et sa composition dépend fortement de la nature du granulat et des propriétés de la pâte de ciment. Dans la littérature, il est décrit que les granulats calcaires ont une bonne adhérence avec la pâte de ciment ce qui réduit cette zone de porosité [ROB 08]. Pour les bétons à hautes performances, l'aurole de transition est très réduite et conduit donc à une meilleure interface. Il s'agit également d'une zone de développement de contrainte qui est fortement sollicitée à cause de l'incompatibilité de déformations des

granulats et de la pâte qui apparaît vers 230 °C [JAN 13 ; PIM 02]. En effet, au-delà de cette température, les granulats continuent de se dilater alors que la pâte de ciment se rétracte.

Que ce soit sur les bétons OC ou HSC, les modes de fissuration sont indépendants de la matrice cimentaire et dépendent essentiellement de la nature du granulat (cf. Figure 2). Les fissures se forment en développant des réseaux. Les bétons -G [a] sont les moins fissurés avec des mailles de réseau inférieures à 1 cm. A la fin du cycle de chauffage / refroidissement, les bétons -B [c] présentent à peu près les mêmes types de fissures. Les bétons -X et les bétons -N présentent des mailles principales d'environ 2 cm délimitées par des fissures plus ouvertes et des ramifications secondaires avec des ouvertures de fissures moins importantes, les ouvertures de fissures principales étant plus importantes pour les bétons -X. Laissés à l'air ambiant (HR% = 40 ± 10 % ; Temp. = 28 ± 2 °C), au bout de deux jours, les bétons -B s'écaillent progressivement et la surface se désagrège entièrement au bout de 6 jours, phénomène qui ne commence à apparaître qu'au-delà de 13 jours sur les autres bétons.



**Figure 2.** Fissurations des HSC après un cycle à 750 °C : [a] HSC-G ; [b] HSC-X ; [c] HSC-B ; [d] HSC-N.

### 3.3. Propriétés thermiques

La conductivité (cf. Figure 3) et la diffusivité thermique des bétons diminuent avec la température jusqu'à 300 °C. Inversement proportionnelle à cette tendance, la capacité thermique (cf. Figure 4) est d'autant plus faible que la conductivité et la diffusivité thermique sont élevées. La conductivité thermique des formulations OC est plus faible que celle des formulations HSC qui ont une plus faible porosité. A température ambiante la conductivité des bétons-G est plus élevée que celle des bétons-X bien que moins riche en quartz. Ceci est lié à la structure cryptocristalline du silice. La diminution des conductivités thermiques des HSC-N et HSC-B est plus importante que pour les OC correspondants. Nous pouvons noter l'influence de la taille des grains de quartz sur l'évolution de la conductivité thermique en comparant les bétons -X et -G. Les silices -X sont composés en effet de quartz cryptocristallins dont la conductivité diminue moins vite que celle des phases minérales mieux cristallisées du granite.

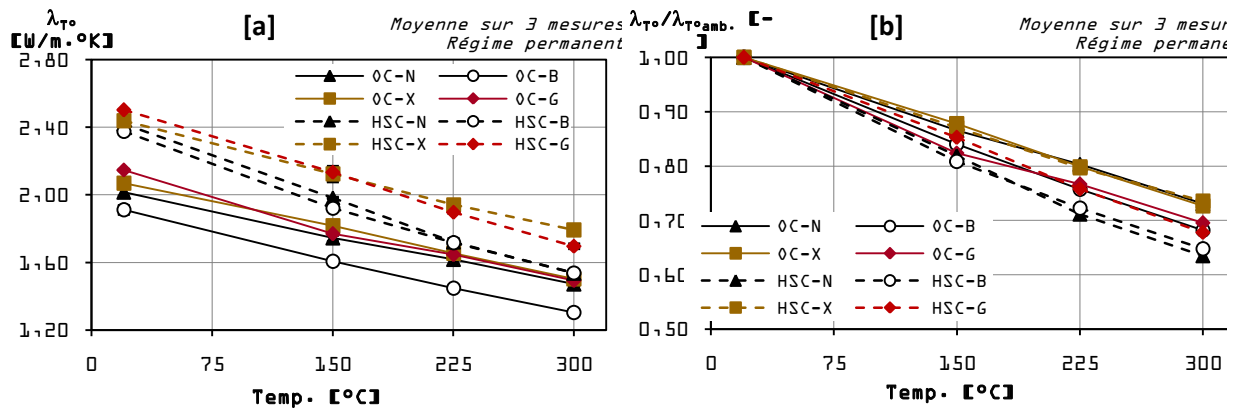


Figure 3. Conductivité thermique à chaud [a] absolue et [b] relative des bétons.

À température ambiante, les bétons de granulats siliceux, notamment le béton-G, ont une plus faible capacité thermique. Les mesures étant effectuées en condition isotherme, les valeurs ne rendent pas compte de la variation de chaleur liée aux transformations physico-chimiques ayant lieu pendant le chauffage. La capacité thermique des bétons augmente un peu avec la température jusqu'à 300 °C. Les bétons de granulats calcaire -N et -B ont des capacités thermiques sensiblement équivalentes. Excepté pour les bétons -B, la capacité thermique des OC augmente plus vite que celle des HSC. Quelque soit le rapport E/C, la capacité thermique des bétons-G augmente beaucoup moins que celle des bétons composés d'autres types de granulats.

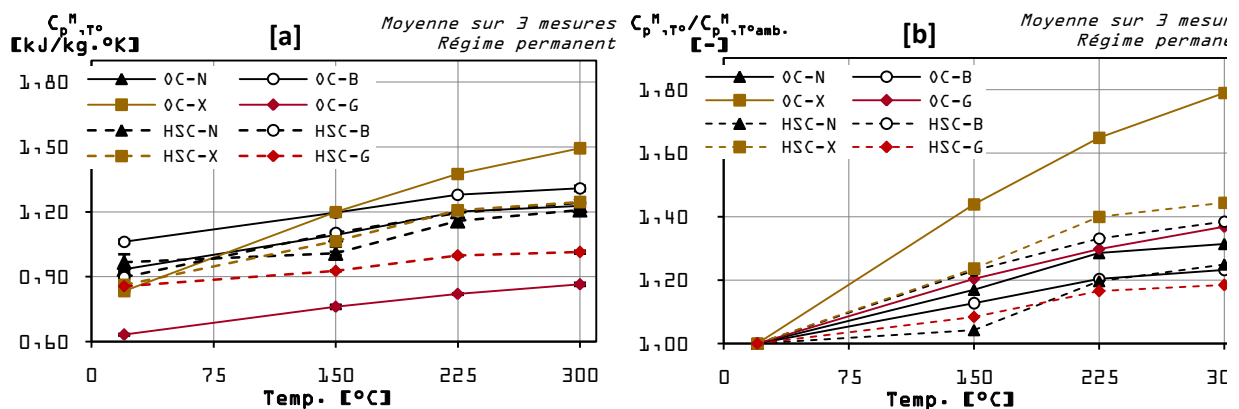
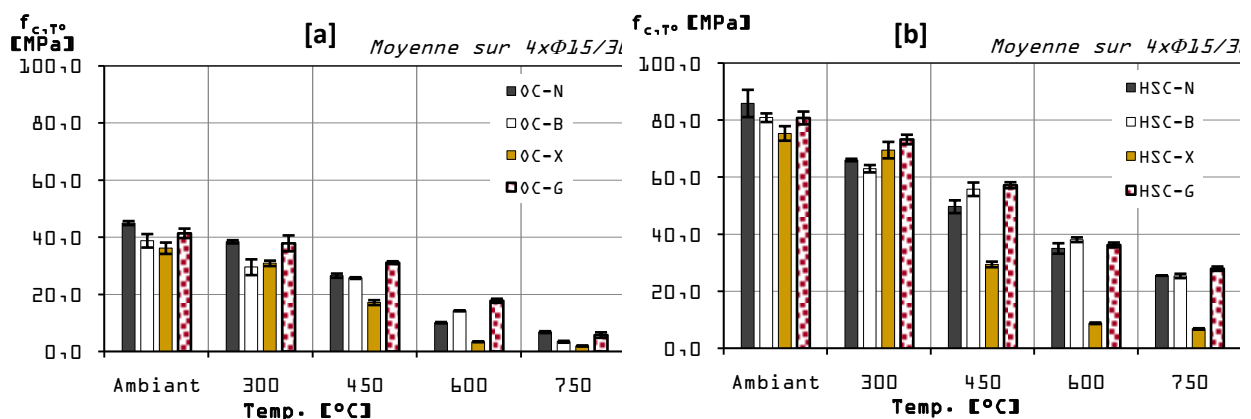
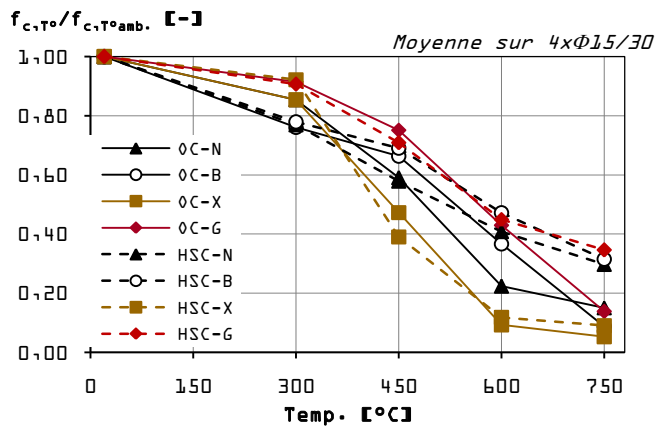


Figure 4. Capacité thermique massique à chaud [a] absolue et [b] relative des bétons.

### 3.4. Résistances mécaniques résiduelles

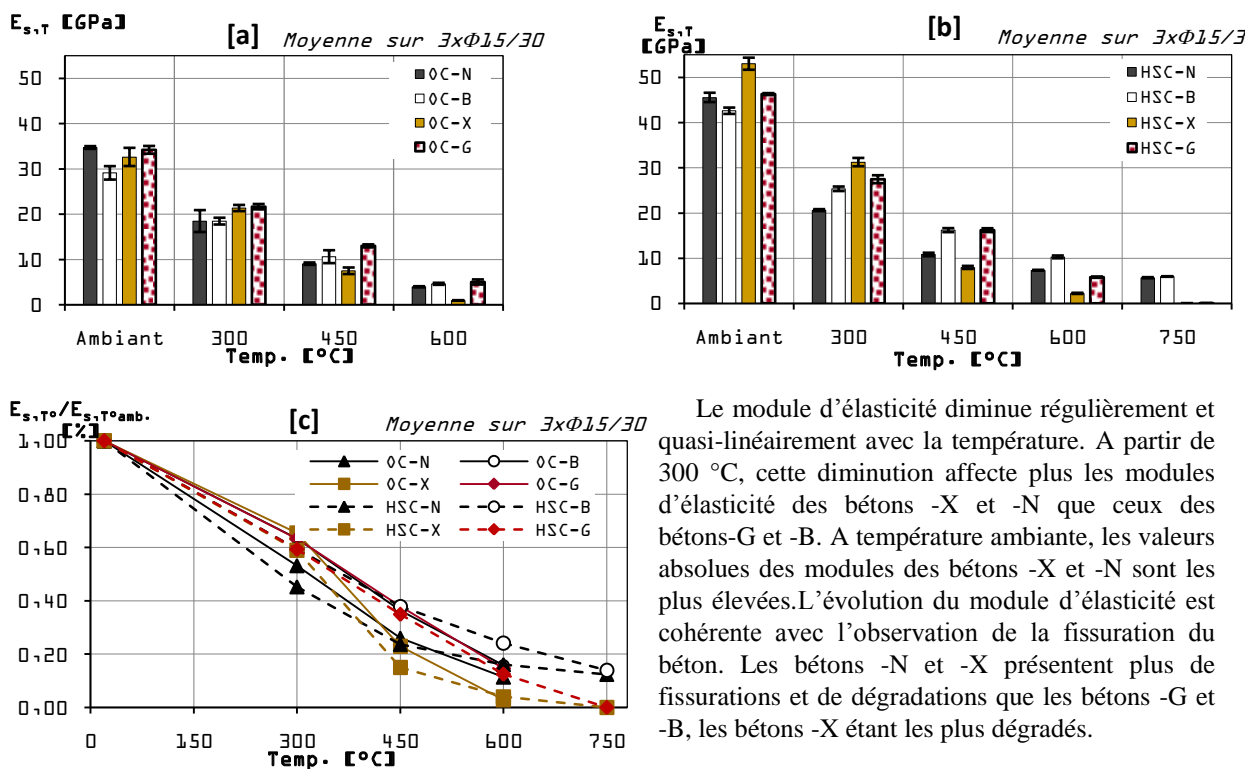
Les Figure 5 et Figure 6 décrivent l'évolution des résistances en compression et des modules d'élasticité statiques résiduels des bétons.





A partir du cycle à 450 °C, une importante perte de résistance est observée systématiquement pour les bétons composés de silex quelque soit leur rapport E/C. Parmi les OC, le OC-G présente un meilleur maintien de résistance avec la température que les autres bétons. Les bétons HSC-G, HSC-B et HSC-N ont globalement les mêmes résistances résiduelles. Les HSC présentent, quelque soit le granulat, une plus faible diminution de résistance entre 600 et 750°C sauf pour les HSC-X.

Figure 5. Résistance résiduelle à la compression [a] des OC, [b] des HSC [c], relative des bétons.



Le module d'élasticité diminue régulièrement et quasi-linéairement avec la température. A partir de 300 °C, cette diminution affecte plus les modules d'élasticité des bétons -X et -N que ceux des bétons -G et -B. A température ambiante, les valeurs absolues des modules des bétons -X et -N sont les plus élevées. L'évolution du module d'élasticité est cohérente avec l'observation de la fissuration du béton. Les bétons -N et -X présentent plus de fissurations et de dégradations que les bétons -G et -B, les bétons -X étant les plus dégradés.

Figure 6. Module d'élasticité statique [a] des OC, [b] des HSC, [c] relative des bétons.

#### 4. Interprétations et discussion des résultats

Les résultats des mesures de porosités résiduelles montrent que les HSC, plus denses, ont une augmentation de la porosité relative plus importante que pour les OC. D'après les études de fissuration, les bétons -N semblent plus dégradés que les bétons -B. La porosité des bétons -N évolue plus rapidement que pour les autres bétons. En se référant par la suite à l'évolution du module d'élasticité statique avec la température qui est fortement lié au volume du vide, nous pouvons remarquer que celui des bétons -N diminue beaucoup plus que celui des bétons -B. Ceci corrobore le fait que les bétons -N se dégradent plus que les bétons -B. Concernant les réseaux de fissuration, les bétons -X et -N présentent des mailles de fissuration délimitées par des réseaux de fissures principales accompagnées de ramifications secondaires plus courtes et plus fines. Contrairement aux bétons -G et -B, les mailles sont généralisées sur toute la surface des éprouvettes. Le caractère instable des granulats de silex permet d'expliquer le mode de fissuration des bétons. L'étude préalable sur les granulats [NIR 13] a montré les mêmes modes de fissuration du granulat seul à partir de 500 °C jusqu'à 750 °C : fissures principales et ramifications secondaires avec des ouvertures de fissures moindres. A l'échelle macroscopique, les bétons -N se dégradent plus que les bétons -B car les fissures présentent des ouvertures plus importantes et un réseau plus

dense. Le fait que le béton -B se désagrège plus après refroidissement que les autres bétons reste à confirmer. Les granulats calcaires étant sujets à la décarbonatation, la réhydratation après le cycle de chauffage entraînant une expansion du granulat joue un rôle dans la dégradation de la surface du béton. La plus forte porosité des granulats -B (trois fois plus élevée que celle des granulats -N) peut favoriser la pénétration de la vapeur d'eau.

A température ambiante, la conductivité thermique est plus influencée par le rapport E/C que par la nature des granulats. Pour une même matrice cimentaire, la présence de quartz, dont la conductivité varie entre 6 et 12 W/m.K, contribue à une plus forte conductivité des bétons -G et -N par rapport aux bétons-B. Le quartz de type cryptocristallin des granulats de silex ne confère pas une conductivité plus élevée aux bétons-X. L'évolution relative de la conductivité thermique avec la température semble par contre plus dépendante de la nature minéralogique des granulats que de la compacité de la matrice. La diminution relative est respectivement plus importante pour les bétons -N et -N, puis les bétons -G et enfin les bétons -X. Les bétons -G ont une faible capacité thermique qui implique également qu'ils ont une importante diffusivité thermique. La capacité thermique des bétons de granite-G augmente peu par rapport à celle des autres bétons. Un résultat similaire est signalé dans les travaux de Bazant et Kaplan [BAZ 96]. A l'inverse, les bétons -X présentent une plus forte augmentation de la capacité thermique. L'influence de la cristallinité des minéraux pourrait expliquer en partie cette différence. La porosité plus importante des granulats -B peut conférer aux bétons -B une capacité thermique plus importante que celle des bétons -N. Les bétons OC-N et OC-B ont des capacités thermiques légèrement plus élevées que les HSC-N et HSC-B. Par ailleurs, la densité du béton tend à améliorer ses propriétés thermiques ce qui se traduit par une conductivité thermique élevée et une capacité thermique faible comme le montrent les valeurs des bétons HSC par rapport aux bétons OC. La présence de fissures dans les matériaux peut affecter les propriétés mesurées.

La nature minéralogique des granulats semble avoir une plus forte influence sur les résistances résiduelles en compression des OC que sur celles des HSC. La nature de la matrice cimentaire influe sur le gain de résistance pour les HSC étant donné que l'interface pâte-granulat est meilleure pour cette formulation et notamment pour la résistance en compression des bétons à 750 °C. A température ambiante, malgré le maintien du volume de pâte pour les OC et les HSC, les résistances des granulats s'observent à travers les différentes résistances en compression des bétons. Toutefois, l'influence de la granulométrie respective des quatre natures de granulats peut être évoquée. Les performances mécaniques résiduelles de bétons de silex-X chutent entre 300 et 450 °C. Il est important de souligner l'instabilité thermique de ce type de granulat à partir de 300 - 400 °C et ce, dépendant de l'état hydrique du granulat et sa taille [MIN 12 ; XIN 13]. Le silex est composé de quartz cryptocristallin qui peut contenir des molécules d'eau dans des microporosités et des groupements hydroxyles formant donc des silanols Si-OH avec les atomes de silices du granulat. Sous l'effet de la chaleur, les liaisons chimiques cèdent pour libérer les groupements hydroxyles qui se recomposent pour former de l'eau qui va s'évaporer. Étant donné la faible porosité du granulat (< 2%), cette évaporation peut générer une augmentation de la pression de vapeur qui engendre une instabilité par fissuration et même l'éclatement du granulat. De plus, la dilatation des phases minérales pendant le chauffage entraîne de plus une diminution du vide entre les grains contribuant à l'augmentation de pression à l'intérieur des pores. Se rangeant dans la catégorie siliceuse, le granulat de granite à l'inverse montre une influence favorable sur les performances mécaniques résiduelles notamment pour les bétons ordinaires. Parmi les granulats calcaires, les performances résiduelles du béton-N sont plus faibles que celles du béton-B, notamment les modules élastiques et la résistance en compression pour le OC. Ceci est cohérent avec les mesures de porosité et l'observation de la fissuration des éprouvettes. Le plus fort endommagement thermique des bétons-N peut être relié à la plus faible porosité de ses granulats (1,7 %), qui diminuant la porosité globale du béton (11 %), génère de plus forte pression de fluide lors du chauffage [NIR 13]. Plusieurs jours après refroidissement, la plus forte porosité des granulats -B semble au contraire jouer un rôle défavorable favorisant la pénétration de la vapeur d'eau dans l'éprouvette et la réhydratation de la chaux.

## 5. Conclusions et perspectives

Cette étude porte sur le comportement à haute température des bétons en tenant compte de la nature des granulats classés suivant l'Eurocode 2 : partie 1-2 dans les deux catégories siliceuse et calcaire. Deux types de granulats sont sélectionnés pour chaque catégorie pour la confection de bétons. La stabilité thermique des granulats et le rapport E/C ont une influence sur l'évolution de la porosité, l'évolution des propriétés mécaniques des bétons, et l'évolution de la fissuration. L'instabilité des silex est dépendante de l'état hydrique et de la taille des granulats. La composition minéralogique, la cristallinité du quartz et sa teneur dans les granulats influent sur les propriétés thermiques des bétons. La distinction et le classement des granulats suivant les deux catégories siliceuses et calcaires proposés par l'Eurocode 2 pourraient être complétée afin de mieux considérer le comportement thermique des granulats. Compte tenu de ces résultats, la nature des granulats peut induire

différents comportements du béton lorsqu'il est soumis à une sollicitation thermique. Il semble intéressant de compléter cette étude par des mesures de propriétés de transfert de masse et de dilatation thermique. L'uniformisation de la granulométrie et le maintien des proportions de la fraction granulaire d'une formulation à une autre peuvent être envisagés.

*Remerciements.* Cet article est rédigé dans le cadre d'une thèse co-financée par l'UNPG et le SNBPE. La participation et l'implication des membres du comité de pilotage sont particulièrement remerciées. L'auteur tient également à remercier l'équipe de recherche dirigée par messieurs le Pr. A. Noumowé et le Dr. HDR R. Hébert ; les encadrants de thèse, mesdames le Pr. B. Ledésert et le Dr. A-L. Beaucour ; ainsi que tous les collègues des laboratoires L2MGC et GEC de l'université de Cergy-Pontoise.

## 6. Bibliographie

- [BAZ 96] BAZANT Z. P. & KAPLAN M. F. (1996). *Concrete at high temperatures: Materials properties and mathematical models*. Longman Group Limited. London.
- [CON 95] CONNOLLY R. J. (1995). *The spalling of concrete in fires*. Aston University.
- [GUS 91] GUSTAFSSON S. E. (1991). Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials. *Review of Scientific Instruments*, 62(3), 797-804.
- [HAG 13] HAGER GAWESKA I. (2013). Behaviour of cement concrete at high temperature. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 61(1), 145-154.
- [HOM 84] HOMAND-ETIENNE F. & TROALEN J.-P. (1984). Behaviour of granites and limestones subjected to slow and homogeneous temperature changes. *Engineering Geology*, 20(3), 219-233. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952\(84\)90002-4](http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952(84)90002-4)
- [JAN 13] JANSSON R. (2013). *Fire Spalling of Concrete : Theoretical and Experimental Studies*. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-128378>
- [KHO 00] KHOURY G. A. & ANDERBERG Y. (2000). Concrete spalling review. Sweden: Swedish National Road Administration.
- [MIN 12] MINDEGUIA J.-C., PIMIENTA P., CARRE H. & LA BORDERIE C. (2012). On the influence of aggregate nature on concrete behaviour at high temperature. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16, No.2.
- [NIR 13] NIRY RAZAFINJATO R., BEAUCOUR A.-L., HEBERT R., NOUMOWÉ A., LEDÉSERT B. & BODET R. (2013). *Thermal stability of different siliceous and calcareous aggregates subjected to high temperature*. Paper presented at the RILEM 3rd international workshop : Concrete spalling due to fire exposure, Paris, France.
- [NIR 14] NIRY RAZAFINJATO R., BEAUCOUR A. L., HEBERT R., NOUMOWE A., LEDESERT B. & BODET R. (2014). *Comportement à haute température des bétons de granulats naturels siliceux et calcaires*. Paper presented at the 32èmes rencontres universitaires de l'AUGC, At Orléans, Orléans, France.
- [PIM 02] PIMIENTA P. & HAGER I. (2002). *Mechanical behaviour of HPC at high temperature*. Paper presented at the 6th International symposium on utilisation of high strength/high performance concrete.
- [RIL 95] RILEM & SCHNEIDER U. (1995). Recommendation of RILEM TC 129-MHT: Mechanical concrete properties at high temperatures—modelling and application - Part 3: Compressive strength for service and accident conditions. *Materials and Structures*, 28(7), 410-414. doi: 10.1007/BF02473077
- [ROB 08] ROBERT F. (2008). *Comportement des bétons sous haute température et en cas d'incendie : caractérisation multi-échelle*. Thèse de doctorat. ENS Cachan. Available from <http://www.theses.fr/2008DENS0046>
- [SCH 13] SCHMIDT P. (2013). What causes failure (overheating) during lithic heat treatment? *Archaeological and Anthropological Sciences*(2012), 1-6. doi: 10.1007/s12520-013-0162-3
- [TOR 99] TORRENTI J.-M., DANTEC P., BOULAY C. & SEMBLAT J.-F. (1999). Projet de processus d'essai pour la détermination du module de déformation longitudinale du béton. *Bulletin - Laboratoires des ponts et chaussées*, 79-81.
- [VER 05] VERSTRAETE J. (2005). *Approche multi-technique et multi-échelle d'étude des propriétés structurales des matériaux hétérogènes : application à un granulats siliceux naturel*. Thèse de Doctorat de l'université de Haute-Alsace, Mulhouse.
- [XIN 13] XING Z., HEBERT R., BEAUCOUR A.-L., LEDESERT B. & NOUMOWE A. (2013). Influence of chemical and mineralogical composition of concrete aggregates on their behaviour at elevated temperature. *Materials and Structures*, 1-20. doi: 10.1617/s11527-013-0161-y