

Etude de l'effet de la nature des granulats sur le comportement mécanique du béton en zones chaudes et arides «Contribution de la cure»

Study of the effect of the nature of aggregates on the mechanical behaviour of the concrete in hot and dry zones «Contribution of the curing»

K. Bendjillali¹ et Z. Makhloufi²

¹Laboratoire de Recherches de Génie Civil, Université de Laghouat, Algérie.

²Laboratoire de Matériaux et Réhabilitation de Structures, Université de Laghouat, Algérie.

Résumé. Laghouat est parmi les villes de l'Algérie riches en matériaux de différentes natures, tels que les roches calcaires massives et les matériaux alluvionnaires meubles siliceux et silico-calcaires. L'objectif premier de ce travail est d'établir une comparaison des performances mécaniques des bétons préparés avec de granulats de natures différentes. Nôtre second objectif est l'étude de l'influence de la cure sur la résistance à la compression et la résistance à la flexion des bétons étudiés. Les échantillons sont conservés sous un climat chaud et sec réel qui est le climat de Laghouat. Nous avons utilisé comme cure: le film plastique, la toile de jute mouillée et l'immersion dans l'eau. A travers ce travail expérimental, nous avons pu constater que les meilleures résistances à la compression sont obtenues dans les bétons à sable siliceux et celles à la flexion sont obtenues dans les bétons à granulats calcaires. La conservation du béton dans une ambiance aride sans protection augmente sa résistance mécanique à jeune âge, mais à long terme, cette dernière chute d'une façon significative. L'étude a mis en évidence la nécessité de l'emploi d'un super plastifiant et de l'application immédiate de la cure pour le bétonnage en climat chaud.

Abstract. Laghouat is among the cities of Algeria rich in materials of various natures, such as the massive limestone rocks and the natural river materials. The first objective of this work is to establish a comparison of the mechanical performances between concretes with aggregates of different natures. The second objective is to study the effect of curing on the compressive and the flexural strength of concretes. Samples are conserved under a real hot and dry climate which is the climate of Laghouat. We used as curing: plastic film, wet hessian and immersing in water. Through this work, we noticed that the best compressive strengths are obtained in concretes with siliceous sand and the highest flexural strengths are obtained in concretes with limestone aggregates. The conservation of the concrete under dry conditions without any protection increases its mechanical strength at young age, but at long-term, it decreases significantly. The study put in evidence the necessity of the use of a superplasticizer and the immediate application of curing for the concreting in hot climate.

Mots Clés : Béton, Calcaire, Alluvionnaire, Résistance mécanique, Cure

1 Introduction

D'après l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE), le béton est le matériau le plus consommé dans le monde après l'eau. Il s'agit d'un matériau hétérogène constitué d'une matrice en pâte de ciment hydraté capable de changer sa structure et ses propriétés en fonction des conditions hygrothermiques du milieu environnant. Cette pâte est renforcée par des granulats, qui constituent environ 75 à 80% de la masse totale du béton et 90% de tous les ouvrages de Génie Civil. Le grand besoin en granulats pour la fabrication de ce matériau est devenu à l'heure actuelle un vrai problème dans le domaine de l'habitat. Vu cette grande demande en granulats, nous devons exploiter tous les matériaux locaux pour la confection du béton. Alors quels sont les granulats locaux qui offrent les bétons les mieux adaptés au climat aride caractérisant la région de Laghouat? Pour répondre à cette question, nous allons étudier le comportement mécanique des bétons préparés avec des granulats de différentes natures et conservés dans des conditions climatiques réelles. Le deuxième axe de ce travail est de voir l'effet du traitement de cure sur ce comportement mécanique. Les cures appliquées sont le film plastique, la toile de jute mouillée et l'immersion totale dans l'eau.

2 Matériaux utilisés et composition

Le ciment employé est un ciment portland composé de classe 42.5, de masse volumique absolue de l'ordre de 3.04g/cm^3 et de finesse égale à $3200\text{cm}^2/\text{g}$. Deux sables sont utilisés, le premier alluvionnaire de nature siliceuse provenant d'Oued MZi au nord de la commune de Laghouat et le deuxième de nature calcaire provenant de la station de concassage de Djelfa (à 100km au nord de la commune de Laghouat). Les graviers calcaires et siliceux proviennent respectivement des stations de concassage de Djelfa et de Laghouat. Leurs propriétés physiques sont récapitulées sur le Tableau 1. Les dosages de composants déterminés par la méthode de Dreux-Gorisse [1] sont donnés sur le Tableau 2, avec $E/C = 0.5$ et un affaissement au cône d'Abrams de 6cm.

Tableau 1. Propriétés physiques des granulats.

	Granulats Siliceux			Granulats Calcaires		
	0/5	8/15	15/25	0/5	8/15	15/25
Densité apparente (g/cm^3)	1.54	1.30	1.28	1.30	1.35	1.30
Densité absolue (g/cm^3)	2.65	2.68	2.66	2.63	2.56	2.60
Module de finesse	2.20			3.30		
Equivalent de sable à piston	98.80			68.80		
Porosité (%)	42	51	52	51	47	50
Los Angeles (%)		30.80	33.00		28.70	29.60

Tableau 2. Dosages en poids des composants pour un mètre cube du béton (en kg).

Béton	Sable 0/5	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Ciment	Eau
B1	686	431	652	350	175
B2	658	488	628	350	175
B3	654	488	619	350	175
B4	680	434	692	350	175

Avec: B1 : béton à gravier calcaire et sable siliceux. B2 : béton à gravier siliceux et sable siliceux.
B3 : béton à gravier calcaire et sable calcaire. B4 : béton à gravier siliceux et sable calcaire.

3 Procédure expérimentale

Selon la norme Française P18-400, des éprouvettes $16 \times 32\text{cm}$ et $7 \times 7 \times 28\text{cm}$ sont préparées respectivement pour l'essai de compression et l'essai de flexion. Les échantillons sont démoulés après 24 heures de leurs confections, les premiers 6 jours, ils sont conservés au laboratoire (la température varie entre 19 et 32°C et l'humidité est comprise entre 20 et 30%), puis ils sont affectés à l'air libre sous le climat aride réel (la température dépasse 40°C et l'humidité n'excède pas 6%) jusqu'au jour de l'essai. Les éprouvettes écrasées à 3 jours d'âge sont mises directement sous l'environnement réel.

Les cures utilisées sont l'immersion dans l'eau, la toile de jute mouillée et le film plastique. La toile de jute doit être maintenue continuellement humide par un arrosage périodique deux fois par jour. Ces cures sont appliquées juste après le démoulage pendant 14 jours. Les essais réalisés sont des essais destructifs qui servent à la détermination de la résistance du béton à la compression et à la traction par flexion à trois points. Les valeurs retenues des résistances sont la moyenne de trois essais. Pour suivre l'évolution de la résistance mécanique des différents bétons, les essais sont réalisés à 3, 14, 28, 60 et à 90 jours. L'efficacité de la cure est contrôlée sur les résistances mécaniques mesurées à 28 et à 90 jours sur tous les types de bétons étudiés.

4 Discussion des résultats

4.1 Résistance à la compression

4.1.1 Effet de l'âge

Selon la Figure 1, la résistance à la compression des bétons testés atteint son maximum à 28 jours, puis elle diminue. Le même résultat est trouvé dans un autre travail élaboré dans le même axe [2]. Au jeune âge la réaction d'hydratation est accélérée par l'élévation de la température du milieu environnant, puis cette dernière est probablement stoppée ou retardée suite au départ prématuré de l'eau de gâchage. Durant les trois premiers jours, l'évolution de la résistance des bétons testés est beaucoup plus importante comparée à celle à long terme. Cela est expliqué par le fait que dès les premières heures de sa fabrication, le béton gagne davantage d'hydrates qui contribuent à l'amélioration de sa compacité et de sa résistance à la compression. A trois jours, les bétons B1, B2, B3 et B4 gagnent respectivement 38.7%, 84.2%, 91.6% et 63.9% de leurs résistances à 28 jours. Les bétons à sable siliceux B1 et B2 offrent les résistances à la compression les plus élevées, ce qui est justifié par le fait, que le sable siliceux contribue par la dureté élevée de ses grains par rapport au sable calcaire à l'augmentation de la résistance à la compression de la matrice. Dans une étude effectuée sur les bétons de hautes résistances [3], les auteurs ont constaté que les résistances à la compression du béton augmentent avec l'augmentation de la résistance à la compression de ses granulats. Cette constatation confirme le rôle bénéfique que jouent les grains siliceux à l'amélioration du comportement à la compression des bétons. Tandis que d'autres chercheurs [4], estiment que ce sont les bétons calcaires qui présentent le meilleur comportement vis-à-vis la compression. A court terme, la résistance à la compression dans le béton B1 évolue d'une façon très faible par rapport à son évolution dans les autres mélanges, mais à long terme, elle atteint la valeur la plus élevée.

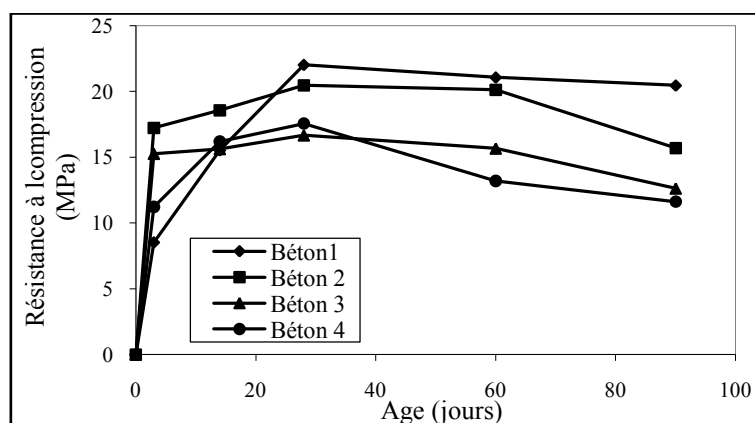


Fig. 1. Evolution de la résistance à la compression des bétons exposés à un climat chaud et sec.

4.1.2 Effet de la cure

Les Figures 2 et 3 montrent le taux de variation de la résistance du béton curé par rapport à la résistance du béton sans cure, respectivement pour l'âge 28 et 90 jours. Nous constatons que toutes les cures sont bénéfiques pour les bétons testés sauf pour le béton B1, où seule l'immersion dans l'eau qui a donné un effet positif sur le comportement à la compression. La toile de jute mouillée et le film plastique n'ont pas apporté une amélioration

significative sur la résistance du B1, ce qui se concorde avec d'autres résultats [5], mais il se contredit avec plusieurs travaux [6, 7, 8, 9]. Il est remarqué aussi que l'effet du traitement de cure est plus apprécié à long terme. Tandis que l'effet bénéfique de la toile de jute est plus prononcé dans la résistance à 28 jours, le taux d'amélioration de la résistance à la compression à 28 jours avec la toile de jute mouillée varie entre 55.34%, 38.33%, 25.38% respectivement pour les bétons B2, B3 et B4. L'immersion dans l'eau a apporté une amélioration de la résistance à 90 jours très considérable qui s'approche de 82% dans le béton B2 et dépasse 87% dans le béton B4. La mise du béton dans l'eau est considérée par tous ses connaisseurs comme étant la cure la plus efficace dans les climats à caractère aride.

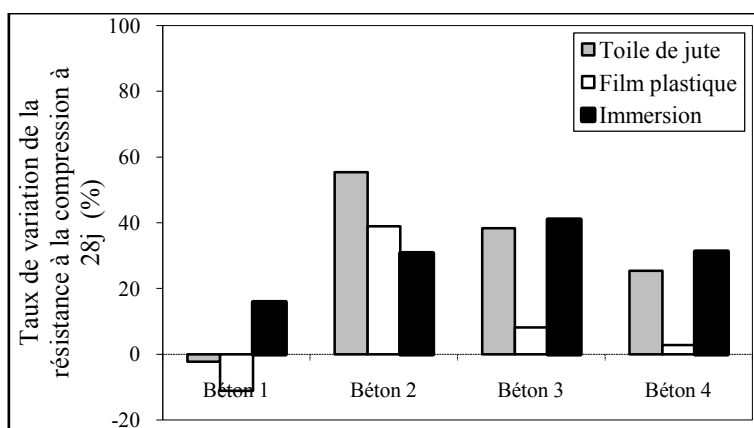


Fig. 2. Taux de variation de la résistance à la compression du béton à 28 jours par rapport à sa résistance sans cure.

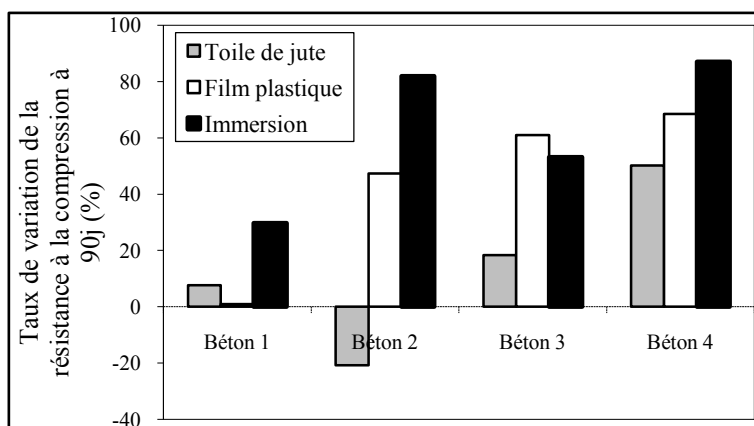


Fig. 3. Taux de variation de la résistance à la compression du béton à 90 jours par rapport à sa résistance sans cure.

4.2 Résistance à la traction par flexion

4.2.1 Effet de l'âge

Il est nettement clair selon la Figure 4 que le gain de la résistance à la traction par flexion durant les trois premiers jours est très apprécié dans tous les bétons testés. Ce même comportement est observé dans la compression et qui est justifié par le nombre élevé d'hydrates formés dès la fabrication du béton. A trois jours, les bétons B1, B2, B3 et B4 atteignent respectivement 82%, 74%, 65.4% et 72,7% de leurs résistances à 28 jours.

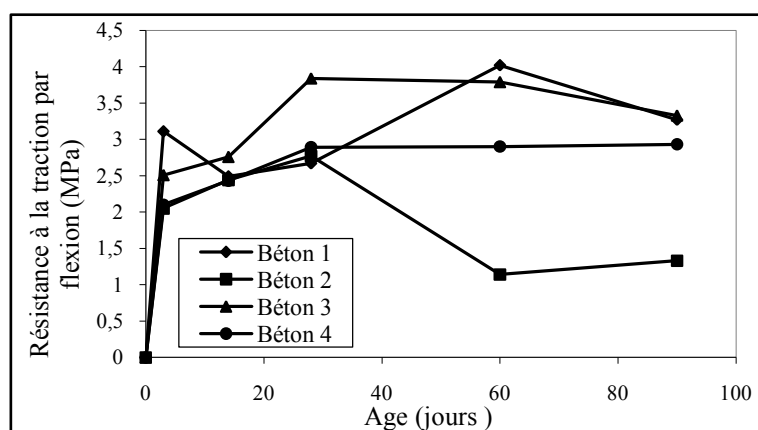


Fig. 4. Evolution de la résistance à la traction par flexion des bétons exposés à un climat chaud et sec.

Nous constatons aussi que jusqu'aux 14 jours, les résistances à la traction par flexion de tous les bétons évoluent d'une façon presque identique. Après 28 jours, les bétons B2 et B3 présentent une diminution de la résistance. Le béton B1 continue à gagner sa résistance jusqu'aux 60 jours, puis cette dernière chute d'une manière significative, mais dans un autre travail [10], l'évolution de la résistance de ce béton se poursuit jusqu'à long terme. Tandis que le béton B4 atteint sa résistance maximale à 28 jours et qui reste presque constante.

Les résistances à la traction par flexion les plus élevées sont obtenues avec les bétons à graviers calcaires et le béton B2 donne les résistances les plus faibles, cette constatation est confirmée par d'autres chercheurs [4]. Cela peut être justifié par la texture superficielle rugueuse et par la réactivité des granulats calcaires avec la pâte de ciment, ce qui améliore nettement le travail de l'ensemble à la traction.

4.2.2 Effet de la cure

Les Figures 5 et 6 montrent le taux de variation de la résistance à la flexion dans un béton recevant une cure par rapport à la résistance du même béton non curé respectivement pour l'âge 28 et 90 jours. Nous remarquons que les bétons les plus touchés par le traitement de cure sont ceux préparés à base de sables siliceux.

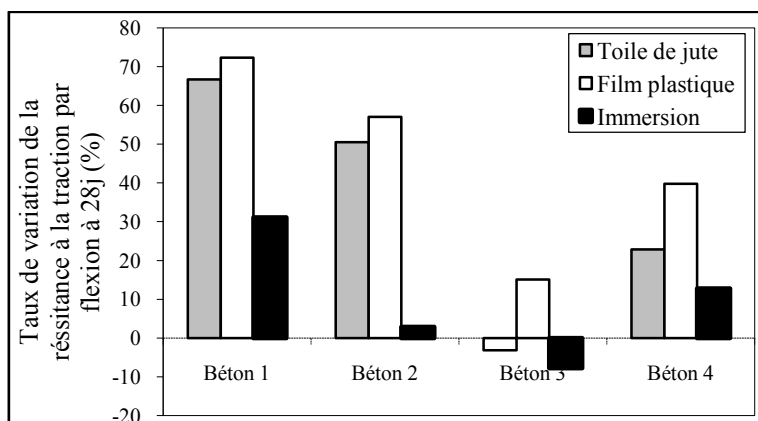


Fig. 5. Taux de variation de la résistance à la traction par flexion du béton à 28 jours par rapport à sa résistance sans cure.

Comme dans le cas de la compression, l'effet du traitement de cure est beaucoup plus important sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours. La résistance à la traction par flexion à 90 jours du béton B2 a subi une augmentation de l'ordre de 302% et 208% par rapport à sa résistance sans cure, respectivement avec la toile de jute et le film plastique. Les résistances obtenues avec l'immersion dans l'eau n'étaient pas satisfaisantes comparées à celles atteintes avec les autres modes de cure.

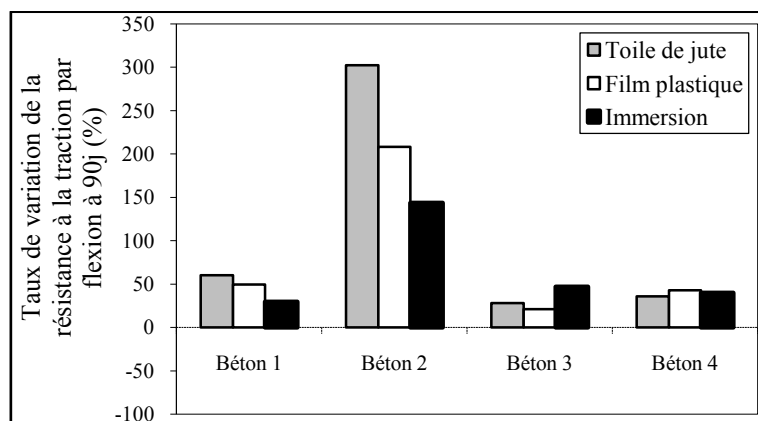


Fig. 6. Taux de variation de la résistance à la traction par flexion du béton à 90 jours par rapport à sa résistance sans cure.

5 Conclusion

A la fin de ce travail, nous avons pu tirer les conclusions suivantes:

- La conservation du béton sous un climat chaud et aride sans protection conduit à une augmentation de sa résistance mécanique à jeune âge, mais à long terme, cette résistance chute d'une façon significative quelque soit le type de granulats.
- Dans un climat aride, le meilleur comportement à la compression est obtenu dans les bétons à sable siliceux et celui à la traction par flexion est atteint dans les bétons à granulats calcaires.
- Durant les deux premières semaines de leur conservation dans une ambiance chaude et sèche, les différents bétons testés gagnent des résistances à la traction par flexion très proches.
- Dans les zones chaudes et sèches, l'emploi d'un super plastifiant est une opération obligatoire et 14 jours de cure paraissent une durée minimale pour une cure efficace.
- L'immersion dans l'eau semble être la meilleure cure pour améliorer la résistance à la compression des bétons.
- La toile de jute et le film plastique n'ont pas donné des bons résultats pour la compression du béton B1.

Références

1. G. Dreux, J. Festa, *Nouveau guide du béton et de ses constituants*. 8^{ème} Ed. Eyrolles, (1998).
2. K. Bendjillali, L. Azzouz, Effet de la cure sur la résistance du béton en climat chaud. *Revue Universitaire de l'Université de Laghouat*. 16-23 (2000).
3. A. Kiliç, C.D. Atis, A. Teymen, O. Karahan, F. Ozcan, C. Bilim, M. Ozdemir, The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement and Concrete Composites*. **30**, 290-296 (2008).
4. M. Chaouch, M. Bellanger, *Introduction, Liant - Granulat, Influence sur les propriétés mécaniques des mortiers et bétons*. 82 (1996).
5. A.H. AlShaikh, A.I. AlNeghaimesh, *Effectiveness of different curing methods under very hot and dry conditions*, *Concrete 2000: Economic and Durable Construction through excellence*. International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK. **79**, 727 (1993).
6. S.H. Alsayed, M.A. Amjed, Effect of curing on Strength, Porosity, Absorptivity and Shrinkage of concrete in hot and dry climate. *Cement and Concrete Research*. **4**(7), 390-398 (1994).
7. L. Lachemat, S. Kenai, *Effets du type et de la durée de cure sur les propriétés du béton en climat chaud*. Séminaire International de Génie Civil, Ghardaïa Mars, Algérie. 30-44 (1994).
8. S.H. Alsayed, Sensitivity of compressive Strength of HSC to hot-dry climate Curing regimes and additives. *ACI Materials Journal*. **94**(6), 472-477 (1997).
9. K. Bendjillali, L. Azzouz, S. Kenai, *Contribution de la conservation réelle du béton à l'effet de la cure sur sa résistance mécanique*. Séminaire National de Génie Civil, Oran, Algérie, 115-121 (2002).
10. K. Bendjillali, *Comportement physico-mécanique du béton en zones arides: Apport du traitement de cure en climat réel de Laghouat*. Mémoire de Magister. Université de Laghouat, Laghouat, Algérie (2001).