

# PROPOSITION D'UN NOUVEAU BÉTON POUR LES STRUCTURES DE BÂTIMENT

## PROPOSAL OF A NEW CONCRETE BUILDING STRUCTURES

**Saloua EL EUCH KHAY<sup>1</sup>, Asma JABALLAH SLAOUI<sup>2</sup>, Jamel NEJI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Maître Technologue à l'ISSET de Radès, membre du laboratoire LAMOEDE de l'ENIT

<sup>2</sup> Technologue à l'ISSET de Radès

<sup>3</sup> Professeur à l'ENIT, membre du LAMOEDE

### INTRODUCTION

Le secteur de bâtiment constitue aujourd'hui le secteur d'activité le plus gros consommateur de béton et d'agré-gats de gros calibre.

En Tunisie, le secteur du béton a connu une évolution rapide ces dernières années. La consommation des agré-gats entrant dans la composition du béton a connu par conséquent une importante croissance. Elle est estimée à 50 millions de tonnes par an environ.

La Tunisie compte à peu près 500 carrières installées sur-tout au nord et au centre du pays. La roche mère est gé-néralement de nature calcaire ne répondant pas toujours aux exigences normatives de dureté et de propreté. Les pro-ductions de gravier et de sable de concassage sont res-pectivement de 22 millions et de 6,5 millions de m<sup>3</sup> annuellement. Le secteur de l'équipement et de l'habitat consomme au moins 80% de l'ensemble de la production

de gravier alors que les utilisations du sable de concas-sage sont assez limitées. Ce dernier présente souvent des stocks gênants dans plusieurs carrières du pays surtout au nord et en partie au centre du pays comme montré sur la figure 1.

Par ailleurs, les carrières, tout en contribuant à l'essor immobilier et économique du pays, ont des répercussions néfastes sur l'environnement. Elles sont en effet, sources de pollution atmosphérique et sonore, du fait des installa-tions de concassage-criblage, de la circulation des engins et de l'utilisation des explosifs, voire des tirs de mines. Certaines sont implantées depuis des années dans des zones d'habitations et des zones à écosystèmes fragiles. Le contrecoup environnemental reste quasi-inévitable. Et les recommandations faites ici et là pour en atténuer les effets relèvent plutôt de la théorie.

D'autre part, les ressources naturelles utilisées pour la pro-duction des agré-gats de carrière sont non renouvelables.

L'exploitation massive des carrières pour satisfaire la demande de plus en plus croissante, rend possible une pénurie de gisements de granulats de gros calibre.

C'est suite à ces constatations que vient l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des matériaux locaux disponibles et facilement accessibles mais à performances limitées, en l'occurrence les sables de concassage qui sont considérés par les carriers comme déchets de fabrication des graviers. Ces matériaux très peu exploités peuvent être utilisés pour la réalisation des bétons de sable dont ils seraient le constituant principal.

Le béton de sable est un béton fin dont le seul composant granulaire est le sable. Il se distingue alors des bétons traditionnels par un fort dosage en sable et l'absence de gravier. Il est destiné aux mêmes emplois que le béton traditionnel et il peut même présenter des avantages supplémentaires par rapport à ce dernier tels que sa bonne maniabilité, son meilleur comportement vis-à-vis de la ségrégation ainsi qu'un aspect esthétique considérable. Il est constitué principalement d'un mélange de sable(s), de ciment, d'eau de gâchage, de fine et éventuellement d'adjuvant(s) [1].

L'introduction du béton de sable dans le secteur des BTP permettra de réduire la consommation des graviers et des granulats alluvionnaires en exploitant les stocks de sable de concassage abondants dans les différentes carrières du pays et notamment dans la région du nord.

Des études antérieures ont été menées pour tester ce matériau pour son utilisation éventuelle dans la construction des chaussées [2-7] et ont abouti à des résultats très encourageants.

Cet article décrit les résultats d'une étude de formulation et de détermination des caractéristiques mécaniques du béton de sable à base de matériaux locaux qui a été réalisée afin de tester la possibilité de l'introduction de ce béton dans la confection des éléments de structures de bâtiments en Tunisie.

## 1. ÉTUDE DE FORMULATION

Par définition, le béton de sable est un béton fin où les gravillons sont remplacés par du sable et le sable par des fines avec du ciment et de l'eau en quantités appropriées [1].

Six formules de béton de sable sont arrêtées lors de cette étude. Elles étaient toutes formulées avec du sables de concassage de Djebel Ressas.

Le sable constitue le composant principal du squelette d'un béton de sable. Aucun critère granulométrique n'est exigible pour réaliser un béton de sable, la seule restriction réside dans la propreté ( $ES > 35$ ) [8].

La figure 2 montre la courbe granulométrique du sable utilisé. D'autres caractéristiques et notamment la masse volumique et l'équivalent de sable ont été déterminés et les résultats sont donnés dans le tableau 1.

Le sable de concassage de Djebel Ressas a une matrice granulaire étalée entre 0 – 5 mm. Le pourcentage de fines est de 13%. Son module de finesse est de l'ordre de 3,44. En Tunisie, le béton classique destiné aux structures de bâtiments ordinaires est d'habitude dosé à  $350\text{kg/m}^3$  de

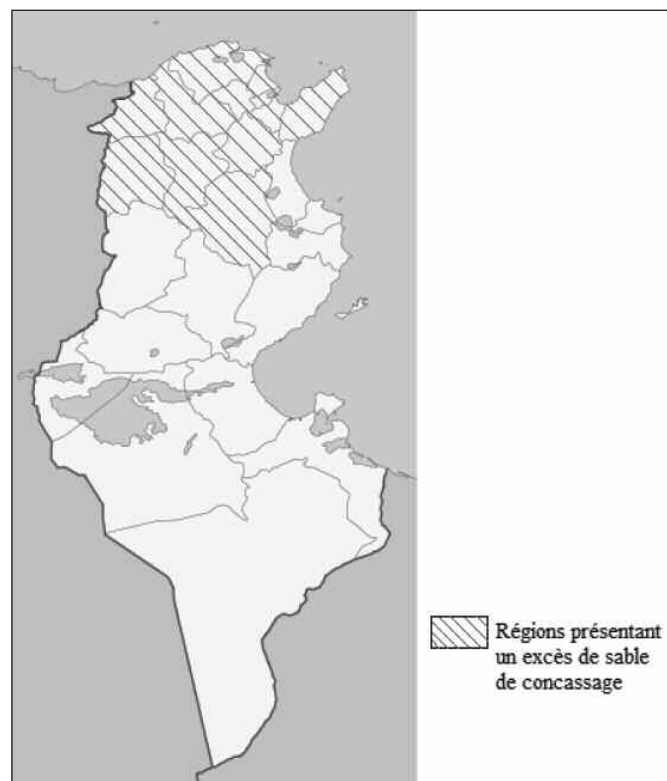


Figure 1 : Zones concernées par la valorisation.

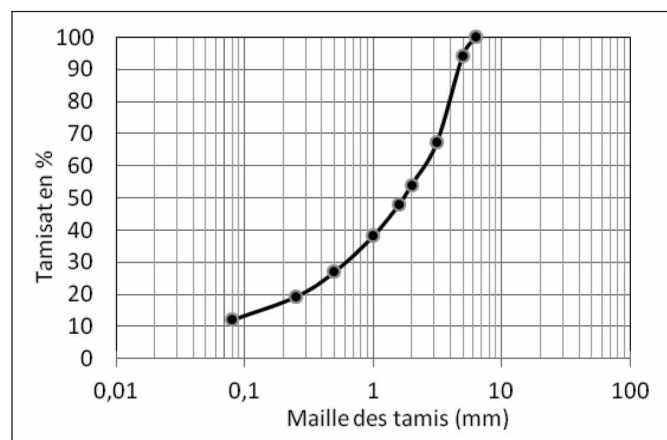


Figure 2 : Courbe granulométrique du sable utilisé.

Caractéristique	Valeur
Masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ )	2654
Equivalent de sable ES	78
% des fines	13,2
Module de finesse MF	3,44

Tableau 1 : Caractéristiques du sable utilisé.

ciment de classe 32,5. Une résistance à la compression minimale de 22MPa est exigée.

Lors de cette étude, deux types de ciment ont été utilisés: le ciment Portland de classe CEM II. 32.5 et de classe CEMII. 42.5 répondants à la norme tunisienne NT 47.01. Le deuxième type de ciment est introduit dans le but d'améliorer la résistance du béton de sable qui serait affectée par l'absence de granulats de gros calibre. Le dosage en

ciment est le paramètre variable de cette étude. Pour chaque type de ciment, trois dosages ont été testés à savoir  $350\text{kg/m}^3$ ,  $375\text{kg/m}^3$  et  $400\text{kg/m}^3$ . Nous avons obtenu ainsi 6 formules de béton de sable.

Vu que le sable de concassage utilisé est riche en fines, nous n'avons pas ajouté d'autres fines.

Ainsi six formules de béton de sable ont été mises au point en utilisant la méthode expérimentale de formulation proposée par le projet national français de recherche et de développement Sablocrete [1]. Les trois Formules F1, F2 et F3 sont réalisées avec du ciment de classe 32,5 et sont respectivement dosées à  $350\text{ kg/m}^3$ ,  $375\text{ kg/m}^3$  et  $400\text{ kg/m}^3$  de ciment tandis que les formules F4, F5 et F6 sont à base de ciment de classe 42,5 et dosées de même respectivement à  $350\text{ kg/m}^3$ ,  $375\text{ kg/m}^3$  et  $400\text{ kg/m}^3$  de ciment.

Durant l'étude de formulation, la maniabilité du béton de sable a été testée. La figure 3 montre l'essai au cône d'Abrams réalisé. Pour chaque formule, le dosage d'eau de gâchage, calculé par la méthode expérimentale, a été ajusté de sorte que l'affaissement au cône d'Abrams soit égal à 5cm. Il s'agit donc d'un béton plastique qui peut être mis en place par vibration en utilisant des outils de vibration classiques.



**Figure 3 : Essai d'affaissement.**

## 2. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES ET RÉSISTANCES DU BÉTON DE SABLE

Une fois les six formules ont été mises au point, nous avons procédé à l'établissement de leurs caractéristiques et résistances mécaniques. Des essais de compression et de fendage ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques  $16\text{cm} \times 32\text{cm}$  (Figure 4). Des essais de flexion trois points ont été menés sur des éprouvettes prismatiques  $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$  (figure 5).

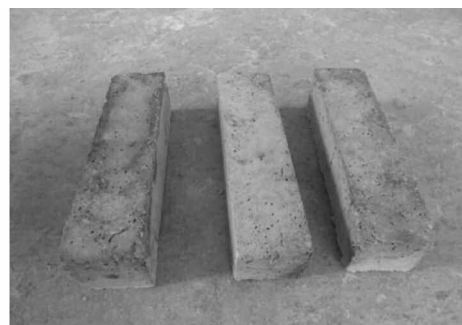
Les éprouvettes ont été conservées dans l'eau dès leurs démoulage c'est à dire 24 heures après leurs coulage et retirées de l'eau 24 heures avant l'essai.

### 2.1. Résultats des essais de compression (NF P 18-406)

Des essais de compression (figure 6) ont été réalisés pour les six formules de bétons de sable compactés à 7 jours, 14 jours et 28 jours de la date de la confection des éprouvettes.



**Figure 4 : Eprouvettes cylindriques émergées dans l'eau.**



**Figure 5 : Eprouvettes Prismatiques.**



**Figure 6 : Eprouvette après écrasement.**

Pour chaque âge 3 éprouvettes sont testées pour retenir une valeur moyenne. L'objectif visé est d'atteindre une résistance à 28 jours de 22 MPa au minimum qui est une valeur très acceptable pour le secteur de bâtiment.

Pour chaque formule, 12 éprouvettes ont été confectionnées et testées. La figure 7 montre les courbes qui suivent l'évolution de la résistance à la compression moyenne en fonction de l'âge du béton pour les six formules testées.

Rappelons que les 3 premières formules utilisent le ciment de classe 32.5 et les 3 dernières utilisent le ciment de classe 42.5. Il est clair que la classe de ciment 42,5 est meilleure de point de vue résistance à la compression. La classe de ciment influe donc directement sur la valeur de la résistance.

Pour une même classe de ciment, plus le dosage en ciment est élevé plus la résistance à la compression augmente. La résistance atteint une valeur maximale de 33,7 MPa à 28

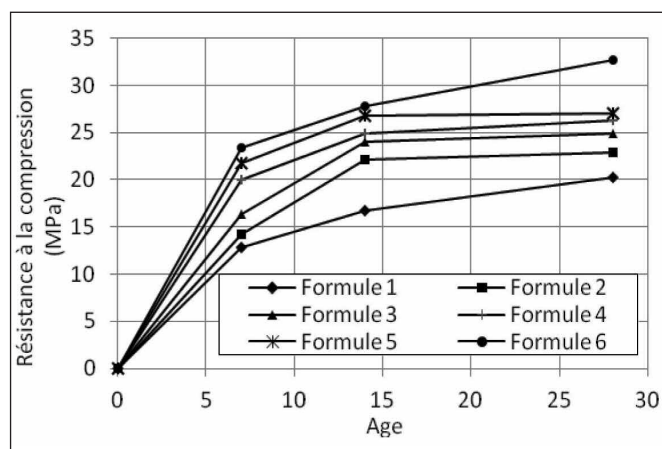


Figure 7 : Résultats des essais de compression.

jours pour la formule F6 dosée à 400kg/m<sup>3</sup> de ciment de classe 42,5.

Seule la formule F1 dosée à 350 kg/m<sup>3</sup> de ciment, n'a pas atteint une résistance de 22MPa qui est la résistance souvent exigée pour les bétons de structures de bâtiments courants. Cette dernière exigence est bien vérifiée pour les cinq autres formules. Le ciment de classe 42,5 permet d'atteindre des résistances toutes supérieures à 25 MPa.

## 2.2. Résultats des essais de flexion (NF P 18-433)

L'essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques 4×4×16cm<sup>3</sup> âgées de 28 jours, appuyées sur deux points et subissant une charge verticale au milieu (Figure 8). Les résultats trouvés sont schématisés au niveau de la figure 9.

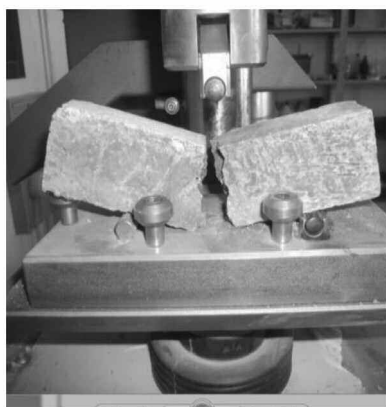


Figure 8 : Essai de flexion trois points.

Pour les deux classes de ciment testées, la résistance à la flexion varie d'une façon croissante et presque linéaire en fonction du dosage en ciment. Elle augmente si on augmente le dosage en ciment. La résistance est supérieure à 3MPa pour toutes les formules sauf F1. Elle atteint une valeur maximale de 5,3MPa pour la formule F6.

La résistance à la flexion représente environ 15% de la résistance en compression pour les différentes formules testées.

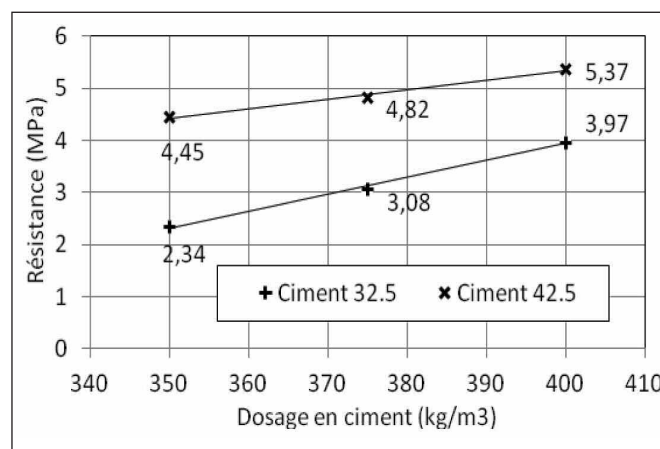


Figure 9 : Résistance à la flexion en fonction du dosage en ciment.

## 2.3. Résultats des essais de fendage (NF P 18-408)

L'essai de fendage est couramment utilisé pour caractériser le comportement d'un matériau vis à vis de la traction. Cet essai consiste à appliquer un effort de compression transversale sur des éprouvettes cylindriques de dimensions 16cm×32cm (Figure 10).



Figure 10 : Essai Brésilien.

La figure 11 montre le plan de rupture de l'une des éprouvettes en béton de sable testées.

Les courbes représentant la variation de la résistance à la traction par fendage en fonction du dosage en ciment sont montrées sur la figure 12.

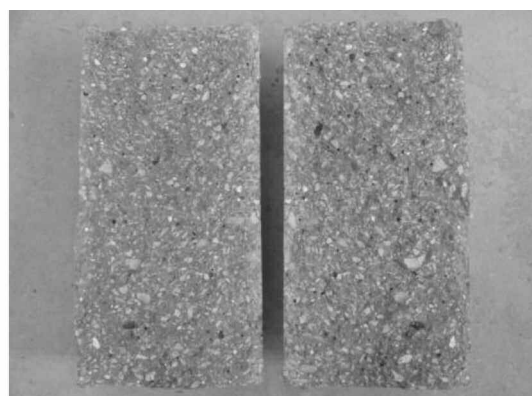
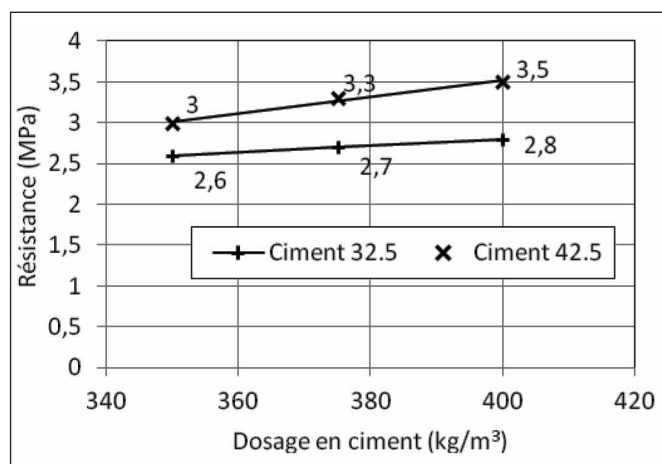


Figure 11 : Rupture par traction par fendage.





**Figure 12 : Résistances à la traction par fendage du béton de sable.**

Similairement à l'essai de flexion 3 points, et pour les deux classes de ciment, la résistance à la traction est croissante d'une façon presque linéaire en fonction du dosage en ciment. Toutes les formules ont une résistance en fendage supérieure à 2,5MPa. Cette dernière représente 11% environ de la résistance en compression.

## CONCLUSION

Dans un contexte de développement durable, et pour faire face à la surexploitation des matériaux de carrières de gros calibres (les graviers en particulier) suite à une demande de plus en plus croissante notamment dans le domaine des BTP, en nette développement en Tunisie, nous avons envisagé l'introduction d'un nouveau matériau: le béton de sable.

A partir des différents essais mécaniques réalisés sur les six formules de béton de sable confectionnées, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Le béton de sable a une bonne résistance à la compression ; à la flexion et à la traction par fendage. Ces résistances sont semblables à celles relatives au béton classique.
- La valeur de la résistance à la compression, paramètre le plus important à considérer, est généralement de 22 MPa à 25 MPa pour les projets de bâtiments courants. Notre étude expérimentale réalisée sur les 6 formules de béton de sable montre qu'il est préférable d'utiliser le ciment de classe 42.5 qui permet même avec un dosage de 350kg/m³ de ciment, qui est le dosage courant pour le béton classique, d'obtenir un béton de sable de résistance à la compression supérieure à 25 MPa et qui atteint 33 MPa pour un dosage plus fort de l'ordre de 400 kg/m³.

Ces résultats très encourageants montrent la possibilité de l'utilisation de ce béton fin dans les structures de bâtiments vu les multiples avantages que présentent ce matériau. En

effet, et en plus de ses performances mécaniques montrées dans cet article, il présente maintes autres avantages.

Il présente en particulier, un meilleur impact sur l'environnement qui se manifeste à travers l'absorption des stocks gênants de sable de concassage localisés dans les différentes carrières du nord et du centre du pays et ce par leur utilisation en tant que le composant principal du béton de sable, aidant ainsi à la diminution des problèmes de pollution et aux nuisances causées par la présence de ces stocks. De plus, l'utilisation des sables de concassage en grandes quantités n'est qu'une substitution de l'utilisation des sables alluvionnaires et des graviers dont la réduction de la quantité de fabrication aura certainement un impact très positif sur l'environnement.

Le béton de sable offre aussi une solution compétitive du point de vue coût. En effet, une comparaison du coût d'un m³ de béton de sable dosé à 350kg/m³ de ciment de classe 42,5 et d'un m³ de béton classique dosé à 350kg/m³ de ciment de classe 32,5 a montré que le coût du premier béton est 12% moins cher que le deuxième.

En conclusion, les deux avantages environnemental et économique du béton de sable cités auparavant ainsi que ses performances mécaniques prouvées lors de cette étude font de lui une solution au même temps écologique et compétitive pour les structures de bâtiments.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bétons de sable-Caractéristiques et pratiques d'utilisation, projet national de recherche et de développement SABLOCRETE, Presses de l'ENPC, 1996.
- [2] Neji, J., Smaoui, H. et Gandouz, W., "Proposal of New Materials for Road Foundation: A Saharan Sand Treated with Slag and a Compacted Sand Concrete," International Journal of Pavements, V. 5, No. 1, 2006, pp. 1-12.
- [3] El Euch Khay S, Neji J, Loulizi A. "Compacted sand concrete in pavement construction: an economical and environmental solution," American Concrete Institute (ACI)-Materials journal, March-April 2010; Volume 107, N°2.
- [4] El Euch Khay S, Neji J, Loulizi A. "Shrinkage properties of compacted sand concrete used in pavements," ELSEVIER, Construction and Building Materials, September 2010; 1795:1790-9.
- [5] El Euch Khay S, Neji J, Loulizi A. "Compacted Dune Sand Concrete for Pavement Applications," Institution of Civil Engineers (ICE) / proceedings - Construction Materials, Volume 164, Issue CM2, Avril 2011.
- [6] El Euch Khay S, Neji J, Loulizi A. "Proposition d'un nouveau matériau pour les chaussées en Tunisie: le béton de sable compacté," Annales du Ministère de l'Équipement, de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire, Mars 2010.
- [7] Ben Othman R, El Euch Khay S, Loulizi A, Neji J. "Compacted-Sand Concrete for Pavement-Tests show suitability of sea-dredged material as aggregate," Concrete International, January 2013.
- [8] AFNOR, NF P 18-500, béton de sable, Juin 1995.