

ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE DE LA RÉSISTANCE A LA COMPRESSION DES BÉTONS À BASE DES SABLES DE CARRIERE MODIFIES AVEC DU SABLE DE DUNE

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL EVALUATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETES WITH CRUSHED SANDS MODIFIED WITH SAND OF DUNE

M.L.K KHOUADJIA ⁽¹⁾, B. MEZGHICHE ⁽²⁾, M.DRISSI ⁽³⁾

^(1,2) Laboratoire de recherche en Génie Civil (LRGC), Département de Génie Civil et Hydraulique, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie
⁽¹⁾ khouadjia.lyes@gmail.com
⁽²⁾ Mezghichebm@yahoo.fr
⁽³⁾ mounsifdrissi@yahoo.fr

RESUME

La consommation d'agrégats, et plus particulièrement le sable, est importante dans le domaine du génie civil (infrastructures, travaux publics...).

Cette forte demande a engendré la dilapidation des réserves naturelles, et a ouvert, une voie, pour une utilisation des sables de carrière (sable concassé) de façon à fabriquer des bétons économiques et durables. Ce sable qui est peu utilisé en raison du taux élevé en fines qu'il contient et qui engendrent des problèmes des bétons à l'état frais et durci.

L'objectif de ce travail est d'évaluer expérimentalement l'influence des sables de carrières sur la résistance à la compression des bétons. Une correction des distributions granulaires avec du sable de dune est réalisée.

Les résultats expérimentaux ont été comparés aux résultats numériques obtenus par le logiciel « Béton Lab Pro 3 ».

MOTS CLES: Béton, sable de carrière, sable de dune, résistance à la compression, Béton Lab Pro3.

ABSTRACT

The use of aggregate and particularly the sand is important in civil engineering (different kind of infrastructures and networks).

The increasing demand due to the depletion of natural reserves of sand. Therefore, it is necessary to focus on the use of crushed sand to manufacture economical and durable concrete. That kind of sand not very used because of the high fines they contain caused many problems in fresh and hardened concretes.

The main of this work is to evaluate experimentally the influence of crushed sands on the compressive strength of concretes. A correction of the grading curves with sand of dune was realized.

The experimental results have been comparing with results of the software « Béton Lab Pro 3 ».

KEYWORDS: Sand concrete, Sand career, sand dune, compressive strength, Béton Lab Pro 3

1 INTRODUCTION

L'exploitation des matériaux locaux telle que le sable issu de concassage est une solution afin de mieux maîtriser la forte consommation des réserves naturelles.

L'utilisation des sables de carrière a été accordée par le ministère de l'habitat et de l'urbanisme Algérien par la loi du 14 juin 2005.

Cependant, aucune démarche ne permet de disposer d'une approche suffisamment fiable qui permettrait de prévoir les propriétés globales (teneur en fine, morphologies, distribution granulaire) du sable de concassage et leur effet sur le comportement des bétons à l'état frais et durci.

Par conséquent, différents travaux ont vu le jour concernant l'utilisation des sables de carrières. L'analyse des travaux publiés a permis d'aboutir au fait que plusieurs paramètres peuvent entrer en considération, tel que l'effet de la source minéralogique du sable de concassage, la texture, ainsi que la forme des particules [1,2].

Les chercheurs [2-6] ont constaté qu'un seuil de 10% à 15% de fines pour lequel l'étude des caractéristiques à l'état frais et durci a été considéré comme optimale. Les chercheurs [4-11] ont expliqué cela par l'effet de remplissage qu'engendrent les sables concassés qui améliorent la zone de transition globale et qui assurent au béton le maintien de l'homogénéité dans le béton.

D'autres chercheurs [12-14] se sont intéressés à l'usage du sable de désert en substituant un certain pourcentage avec du sable de carrières. Ils ont montré que l'incorporation du sable de désert va jouer un rôle de lubrifiant, donc cela avait engendré une augmentation de la fluidité et a amélioré la maniabilité tant que le pourcentage de sable de désert remplacé reste inférieur à 30%. Les résistances mécaniques optimales ont été obtenues pour un pourcentage de 15% de sable de désert.

Dans cette étude, nous avons formulé six (6) compositions de bétons. L'approche numérique a été effectuée au moyen du logiciel Béton Lab Pro 3.

Tableau 3 : Composition chimique des sables (%)

	ORIGINE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	Cl	MgO
S1	Carrière Batna	1.82	0.40	0.27	58.13	0.06	0	0.02	0
S2	Carrière Biskra	1.49	0.37	0.20	57.77	0.14	0.06	0.017	0
S3	Carrière Biskra	1.43	0.32	0.25	57.67	0.15	0	0.017	0
SU	Sable de dune	86.45	0.39	1.47	9.42	0.13	0	0.018	0

2 IDENTIFICATION ET PREPARATION DES MATERIAUX

2.1 Ciments

Pour la confection des éprouvettes, nous avons utilisé un Ciment Portland CPA-CEM I 42.5/N provenant de la société SOTACIB KAIROUAN de Tunisie.

Les compositions chimique et minéralogique du ciment sont présentées respectivement dans les tableaux 1 et 2 :

Tableau 1 : Composition chimique du ciment (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO
CIMENT	20.40	5.53	3.54	61.60	2.38	1.73

Tableau 2 : Composition minéralogique du ciment (Bogue)

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
POURCENTAGE	51.19	19.88	8.667	10.773

2.2 Granulats

L'Algérie bénéficie d'un nombre important de stations d'exploitations de sable de carrières, dont l'origine minéralogique diffère (calcaires gris, jaune ou encore blanc).

Les trois sables utilisés dans ce travail proviennent de deux différentes carrières algériennes (voir tableau 3). Les sables «S2 et S3» sont de même source minéralogique, mais le mode de concassage est différent. Un sable de dune «SU» a aussi été utilisé en vue d'une correction de la distribution granulaire du sable de carrière.

Toutes les propriétés ont été mesurées suivant les normes en vigueur à savoir NF P18-553-555, NF P18-560, NF P18-573, NF P18-597, [15-20].

Les compositions chimiques des sables sont présentées sur le tableau 3 :

Les résultats de l'analyse granulométrique des granulats sont présentés sur les courbes de la figure 1 et 2 :

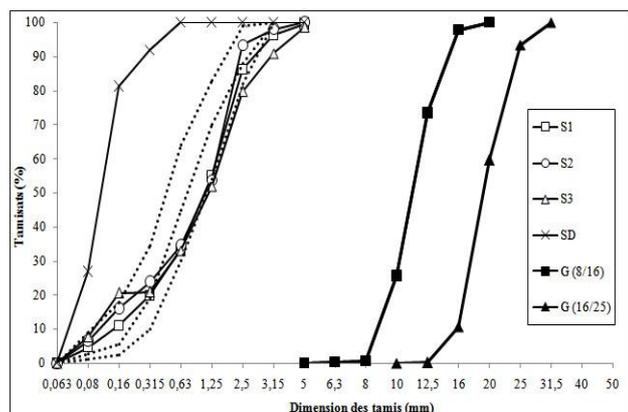


Figure 1 : Courbe granulométrique des granulats non modifiés avec répartition par rapport au fuseau normalisé

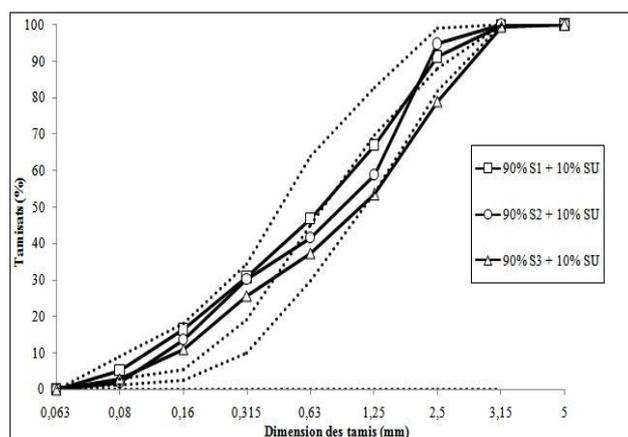


Figure 2 : Répartition par rapport au fuseau normalisé des courbes granulométriques des sables modifiés avec sable de dune

Tableau 6 : Composition des mélanges des bétons avec les sables concassés non modifiés et modifiés avec du sable de dune et pour un rapport E/C = 0.5

	E/C	Ciment Kg/m ³	Eau l/m ³	S %	G1 %	G2 %	S Kg/m ³	SU Kg/m ³	G1 Kg/m ³	G2 Kg/m ³
BS1	0.5	350	175	37	21	42	684.250	/	388.358	776.717
BS1 90%+SU 10%	0.5	350	175	34	22	44	576.088	64.010	414.181	828.362
BS2	0.5	350	175	36	21	43	671.845	/	391.909	802.482
BS2 90%+SU 10%	0.5	350	175	35	22	43	589.987	65.554	412.054	805.379
BS3	0.5	350	175	38	20	42	709.361	/	373.348	784.031
BS3 90%+SU 10%	0.5	350	175	36	22	42	608.341	67.593	413.070	788.589

Le coefficient de Los Angeles = 26,04 %, pour les deux fractions de graviers (8/16 et 16/25). Les autres propriétés qui ont été mesurées sur ces produits sont résumées dans les tableaux 4 et 5 :

Tableau 4 : Teneur en fines, module de finesse et équivalent de sable

DESIGNATION	TENEUR EN FINES (%)	MODULE DE FINESSE	ES (%)
S1	7.26	2.949	86.82
S2	10.14	2.785	78.77
S3	14.08	2.953	85.87

Tableau 5 : Masse volumiques des granulats

DESIGNATION	ρ apparente (g/l)	ρ absolue (g/l)
S1	1569	2480
S2	1620	2547
S3	1696	2549
SU	1509	2577
Gravier 8/16	1422	2631
Gravier 16/25	1449	2659

3 FORMULATION DES ÉPROUVETTES ÉLABORÉES

La confection et la conservation des éprouvettes ont été faites suivant la norme NF P18-405 [21]. Les compositions pour 1m³ de béton sont données dans le tableau 6.

4 DISCUSSIONS DES RESULTATS EXPERIMENTAUX ET NUMERIQUES

4.1 Résistances mécaniques

Les bétons ont été soumis à des essais d'écrasement pour la détermination des résistances à la compression à 7, 14 et 28 jours (figures 3,4 et 5) Le logiciel Béton Lab Pro3 fournit les résultats numériques des résistances à la compression à 7 et 28 jours. Ces résultats sont présentés sur les figures 6 et 7 :

4.1.1 Comparaison entre le comportement des bétons avec sables non modifiés et sables modifiés avec du sable de dune

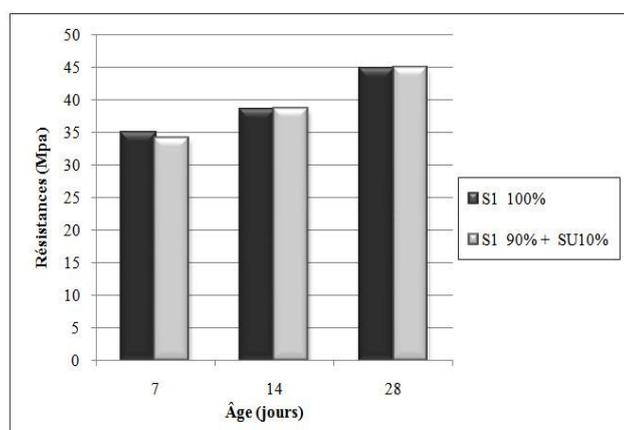


Figure 3 : Résistance à la compression expérimentale du sable S1 non modifié et modifié avec sables de dune

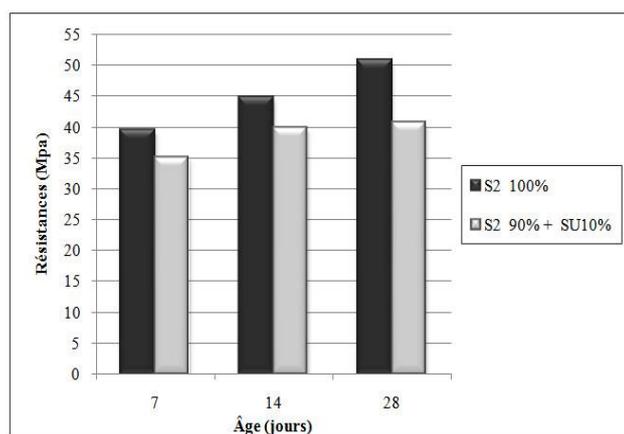


Figure 4 : Résistance à la compression expérimentale du sable S2 non modifié et modifié avec sables de dune

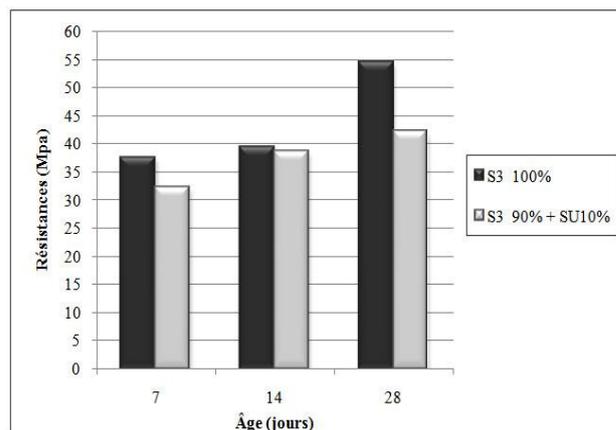


Figure 5 : Résistance à la compression expérimentale du sable S3 non modifié et modifié avec sables de dune

L'utilisation des sables de carrières sans modification montre au même cas [22,23], que les sables avec une grande teneur en fines peuvent donner de bonnes performances à l'état frais et durci. De ce fait, la teneur en fines des sables n'est pas toujours le paramètre ayant le plus d'influence sur le comportement des bétons.

D'autres part, la comparaison des résultats expérimentaux montre que l'incorporation de sable de dune n'a pas engendré une amélioration de la résistance à la compression (figure 3,4 et 5).

En effet, la substitution de 10 % de sable de dune dans les sables S2, S3 à engendre une baisse (jusqu'à 22%) de résistance pour un rapport E/C =0.5 (figure 4 et 5). Cela est expliqué par l'augmentation excessive de la surface spécifique ce qui engendre une augmentation de la teneur en fines et ce qui perturbe la dynamique du mouillage de l'eau, c'est-à-dire la répartition de l'eau dans le béton ce qui conduira à une mauvaise hydratation du ciment.

Enfin, les résultats de la littérature [12-14], ont interprété cela par les modifications structurales suite à l'ajout de particules fines (sable de dune). Cependant, dans notre cas et vu les résultats obtenus par les sables étudiés, cela ne peut pas être attribué avec certitude à l'ajout de fines vu les différences dans le comportement d'un sable à un autre.

4.1.2 Comparaison entre résultats expérimentaux et numériques

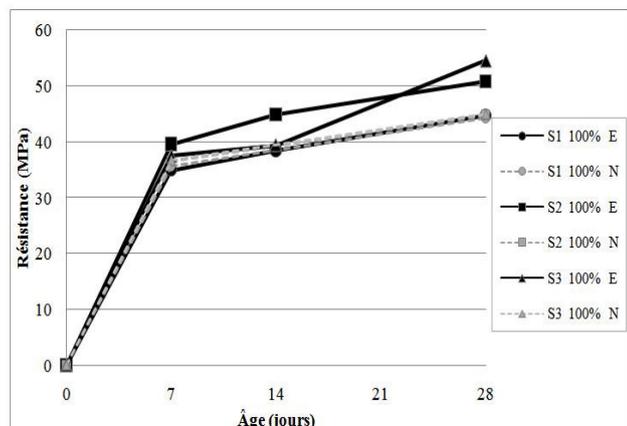


Figure 6 : Résistance à la compression expérimentale des sables non modifiés

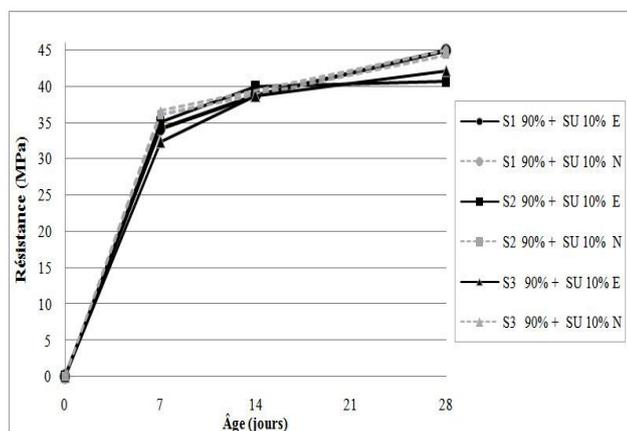


Figure 7 : Résistance à la compression expérimentale et numérique des sables modifiés avec sables de dune

La comparaison des résultats expérimentaux et numériques fournis par le logiciel Béton Lab Pro 3 des sables non modifiés montre une variation allant de 0 à 18% (figure 6).

Dans le cas des sables modifiés avec sable de dune une variation maximale inférieure à 5 MPa (Figure 7) été constaté. En effet, ces différences de résultats ont été étudiées par l'analyse de l'influence des différents paramètres pris en compte par le logiciel. Cette analyse a abouti au fait que le logiciel prend en compte la notion de nature minéralogique vue les résultats obtenus. Cependant, il ne prend pas en compte suffisamment des notions telles que la courbe granulométrique, ou encore la teneur en fine.

En effet, le Model d'Empilement Compressible (MEC) sur lequel se base le logiciel Béton Lab pro 3 prévoit seulement les compacités maximales, ce qui donne lieu à des différences dans la distribution granululaire expérimentale et numérique.

5 CONCLUSION

Cet ensemble d'essais a permis de confirmer que le type de sable de carrières influence le comportement à l'état durci des bétons.

- L'évolution de la résistance à la compression des bétons à base des deux sables «S2 et S3» modifiés et non modifiés est très semblable. L'incorporation de 10% de sable de dune à engendrer une baisse de résistance, cela a été attribué à l'augmentation du pourcentage de fine qui engendre une mauvaise répartition de l'eau dans le béton dans le cas d'un rapport E/C=0.5.
- L'incorporation du sable de dune dans le béton à base de sable «S1» a entraîné une augmentation de la résistance, cela était attribué à l'augmentation du pourcentage en fines qui permet de remplir le vide intergranulaire et au rapprochement par rapport à la courbe normalisée.
- Le sable «S3» à de meilleures performances par rapport au sable «S2» que ce soit avec ou sans corrections, ce qui confirme que les résultats ne peuvent pas être attribués à l'ajout de particule fine dans les sables, mais à la différence dans la distribution granululaire.
- L'analyse des courbes granulométriques des sables a montré, des différences entre la distribution normalisée et la distribution faite expérimentalement, ce qui donne des différences de résultats.
- L'étude numérique avec le logiciel Béton Lab Pro3 nous a permis de faire des gâchages théorique et d'aboutir à des résultats qui donnent une différence maximale allant jusqu'à 18%. Cette différence de résultats peut être expliquée par la non-prise en compte suffisante de la courbe granulométrique par le logiciel Béton Lab Pro3.

Comme perspective de ce travail, on compte proposer une méthode d'optimisation du mélange granululaire (corrections granulaires) pour d'autres rapports E/C en prenant plusieurs indicateurs aussi bien sur le plan expérimental que numérique, et cela afin de confirmer avec certitude le paramètre ayant le plus d'influence sur le comportement des bétons.

REFERENCES

- [1] Al-Baghdadi.M & S.A. Al-Ameeri “Using Different Types of Fine Aggregate to Produce High Strength Concrete” Babel University, Vol 18, N°2, 2010.
- [2] Cabrera. O.A, Traversa. L. P, Ortega.N. F, « Fluidité de mortiers cimentés con arenas machacadas, Flowability in crushed sand mortar », *Materiales de Construcción* Vol 60, 2010, pp. 115-130.
- [3] Joudi.I, Lecomte.A, Ben Ouezdou.M , « Influence des sables de concassage à différents taux de filler sur les performances mécaniques des bétons » , Article INVACO 2: séminaire international, innovation & valorisation en Génie civil & matériaux de construction, n° : 10-311,2011.
- [4] Mikael Westerholm , Hans-Erik Gram, Björn Lagerblad , « Crushed rock as sand in concrete – the Swedish experience » , In : 16th Annual ICAR Symposium, 2008.
- [5] Mikael .W, Lagerblad. B, Silfwerbrand.J, Forssberg. E « Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars » *Cement and Concrete Composites*, Vol 30(4), 2008, p.274-282.
- [6] Akrouit.K, Mounanga.P, Ltifi.M, Ben Jamaa.N “Rheological, Mechanical and Structural Performances of Crushed Limestone Sand Concrete”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol 4, No.2, 2010, pp.97-104.
- [7] Benchaa Benabed, El-Hadj Kadri , Lakhdar Azzouz , Said Kenai, « Properties of self-compacting mortar made with various types of sand », *Cement & Concrete Composites*, Vol 34, 2012, pp.1167–1173.
- [8] Bouhamou.N , Belas.N, Mesbah.H, Mebrouki.A ,Yahia .A , « Influence des paramètres de composition sur le comportement du béton autoplaçant a l'état frais », *Afrique SCIENCE* 04(1), 2008 , pp. 1– 20.
- [9] Melais.FZ, Achoura.D « Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé de fibres de polypropylène », *XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil*. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.
- [10] Menadi.B, Kenai.S, Khatib.J.M, & Aït-Mokhtar.A « Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand », *Construction and Building Materials*, Vol 23(2), 2009, pp.625-633.
- [11] Sadhouari.F, N. Goufi, A.Guezzouli, « valorisation de l'utilisation des sables concassés par analyse des propriétés des mortiers et bétons », *SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries* ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009, pp.1-8.
- [12] Al-Harthy .A.S., M. Abdel Halim, R. Taha, K.S. Al-Jabri, « The properties of concrete made with fine dune sand », *Construction and Building Materials* 21 (2007), pp. 1803–1808.
- [13] Rmili.A, Ben Ouezdou.M, Added. M, Ghorbel.E « Incorporation of Crushed Sands and Tunisian Desert Sands in the Composition of Self Compacting Concretes », Part II: SCC Fresh and Hardened States Characteristics” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol 3(1), 2009, pp.11-14.
- [14] Bederina.M , Makhloufi.Z , Bounoua.A, Bouziani.T, Queneudec.M “Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestone crushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions ”,*Construction and Building Materials* Vol 47, 2013, pp.146–158.
- [15] NF P18-553 Granulats- Préparation d'un échantillon pour essai, AFNOR, ISSN 0335-3931, Septembre 1990.
- [16] NF P18-554 Granulats- Mesure des Masses Volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux, AFNOR, ISSN 0335-3931, Décembre 1990.
- [17] NF P18-555 Granulats- Mesure des Masses Volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau de sables, Décembre 1990.
- [18] NF P18-560 Granulats- Analyse granulométrique par tamisage, Septembre 1990.
- [19] NF P18-573 Granulats- Essai Los-Angeles, Décembre 1990.
- [20] NF P18-597 Granulats- Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines, Décembre 1990.
- [21] NF P18-405 Bétons- Essais d'information confection et conservation des éprouvettes, Décembre 1981.
- [22] Khouadjia.MLK, Mezghiche.B, « Etude expérimentale et numérique des propriétés à l'état frais et durci des bétons à base des sables de carrières », volume : 1, Article INVACO 3: séminaire international, innovation & valorisation en Génie civil & matériaux de construction, 17 et 18 Novembre 2014, pp.87-92.
- [23] Khouadjia.MLK, Mezghiche.B, Drissi.M «Évaluation expérimentale et numérique du comportement mécanique des bétons à base des sables de carrières », 1ère Conférence Internationale sur la Mécanique des Matériaux et des Structures MSM 2014- Marrakech 19 ,20 ,21 Novembre 2014. pp.415-420.