

VALORISATION DES FINES DE DECHETS DE MARBRE RECYCLEES DANS LA FORMULATION D'UN BETON AUTOPLACANT (BAP)

Nawel CHIBANI ; Hacène HOUARI

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions – Faculté des Sciences de la Technologie
Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie

Reçu le 28 Février 2014 – Accepté le 13 Octobre 2014

Résumé

L'industrie de construction pose de nombreux problèmes à La mise en décharge des déchets des matériaux (impact sur l'environnement, la place occupée par les sites de stockage,.....).

Donc, Il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets pour la protection de l'environnement, notre étude s'inscrit dans une politique de valorisation des matériaux industriels locaux en Algérie, pouvant être utilisés dans la conception ou formulation du béton auto plaçant, qui est né d'un besoin d'économie et de qualité accrue pour la construction de béton armé.

Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser les fines des déchets de marbre sous forme d'addition dans la formulation de béton auto plaçant (BAP), Il convient d'étudier les caractéristiques physiques et mécaniques de béton auto plaçant composés de ces déchets à l'état frais et durci, et de comparer les résultats avec un BAP de référence à base de fillers calcaires comme addition.

Mots clés : Béton autoplaçant ; fines de déchets de marbres recyclées ; fillers calcaires ; matériaux locaux ; propriétés ; valorisation ; caractérisation.

Abstract

The construction industry presents many problems, to the landfill of waste materials (the place of sites storage, Impact of environment).

So it is necessary to find a way for the recovery and reuse of this waste for the protection of the environment, our study is part of a policy to SCC), that is born of a need of and quality increased for the constructions of reinforced concrete.

The principal main of this study is to demonstrate the technical feasibility of using the fine marble waste in the form addition in the formulation of self compacting concrete (SCC), It is thus advisable to study the physical and mechanical characteristics self compacting concrete made up with these waste of fresh and hardened, and compare the results with (SCC) containing based limestone such fillers as addition.

Key words: Self compacting concrete ; recycled marble waste powder ; limestone fillers ; local materials ; properties ; valorization ; characterization.

البنائيات الصناعة تسبب العديد من المشاكل في مكب النفايات يقدم (مكان مواقع التخزين، و الأثر البيئي).

لابد من إيجاد وسيلة لاستعادة وإعادة استخدام هذه النفايات لحماية البيئة، لهذا دراستنا تسعى لتعزيز السياسة العامة للاستعمال () المواد الصناعية المحلية في الجزائر، يمكن أن تستخدم في تصميم (صياغة) الخرسانة الذاتية القولية، والتي حاجة الاقتصاد وزيادة نوعية لبناء بالخرسانة المسلحة.

والغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو إثبات الجدوى الفنية لاستخدام نفايات الرخام على شكل مضافات لتصميم الخرسانة الذاتية القولية، و دراسة الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للخرسانة الذاتية مصممة من نفايات الرخام في الحالات اللينة و الصلبة و مقارنة مع تلك الخرسانة الذاتية القولية كمرجع والمؤسسة من غبار جيرى كإضافة.

– **كلمات مفتاحية :** الخرسانة الذاتية القولية – إعادة استعمال غبار نفايات الرخام – غبار جيرى – مائص – استعادة – الميزة.

La en décharge des sous-produits industriels et des déchets des matériaux à une incidence directe sur l'environnement [01], il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités pour éliminer ces déchets et ces sous-produits industriels au moyen de les valoriser et de les réutiliser notamment dans le domaine de génie civil.

Devant les besoins universels de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton [02]. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton.

Notre but est de valoriser et réutiliser les fines des déchets de marbre par leur utilisation dans le domaine des technologies des nouveaux bétons hydrauliques et en particulier la dernière génération des bétons (BAP). L'optimisation d'une formule du béton auto plaçant par l'utilisation des ces fines peut résoudre un problème écologique et économique et enfin technologique [03]. Notre étude a montré que les résultats sont très prometteurs pour la promotion des BAP en Algérie à base des fines des déchets de marbre.

Notre programme expérimental comporte la confection de deux types de BAP : un béton auto plaçant à base des fillers calcaires (BAP_{FC}) et un béton auto plaçant à base des fines des déchets de marbre (BAP_{DM}).

Les mélanges sont des compositions dites locales car elles utilisent des matériaux locaux de la région de Constantine.

1. MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

1.1. Caractérisation des matériaux élaborés

Les compositions des bétons retenues ont été étudiées et optimisées selon l'approche (Méthode Japonaise). Le tableau 1 rappelle la désignation des différentes compositions retenues.

Tableau 1 : Différentes compositions utilisées dans la recherche.

Notations	Type de BAP
BAP _{FC}	Béton autoplaçant (fillers calcaires) de référence avec F/F+C=0,10
BAP _{DM}	Béton autoplaçant(fines déchets de marbre) avec F/F+C=0,10

Le tableau 1 présente les notations qui seront utilisées pour désigner les différents bétons testés.

1.1.1. Matériaux de base

Pour cette étude, nous avons étudié l'utilisation des déchets de marbre blanc de la carrière à bloc de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'Est de la ville de Skikda.

Les constituants utilisés dans les mélanges sont : un ciment de type CPJ 42.5 de la cimenterie Hamma Bouziane, Des granulats (sable0/3et graviers3/8-8/15) de la carrière

HEDNA de Ain Smara, un filler UF20 de la carrière ENG Khroub, un superplastifiant Medaplast SP40 à base polymélamine sulfané de Granitex, et l'eau de robinet du laboratoire.

Tableau 2 : Composition en mètre cube des mélanges.

Compositions (kg/m ³)	Désignation des bétons locaux	
	BAP _{FC}	BAP _{DM}
G/S	0,78	0,78
Ciment CPJ 42.5 (kg/m ³)	400	400
Fillers calcaires UF 20 (kg/m ³)	48,8	0
Déchets de marbre	0	48,8
Sable 0/3 (kg/m ³)	961	961
Gravillon 3/8 (kg/m ³)	455,8	455,8
Gravillon 8/15 (kg/m ³)	297,2	297,2
Super plastifiant SP 40	10,5	11,32
Eau total	200	204
E/C+F ou E/L	0,45	0,455
F/F+C	0,10	0,10

Le tableau 2 présente les deux mélanges de (BAP) sont formulés avec les mêmes compositions (les composantes pulvérulentes, proportions granulaires similaires) avec un ajustement (ou correction) sur la quantité d'eau et de superplastifiant pour atteindre un BAP (pour obtenir un étalement souhaité) et ne diffèrent que par la nature des additions [04].

1.2. Méthodologie d'essais

1.2.1. Techniques expérimentales à l'état frais

Il existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle des propriétés sur le BAP à l'état frais.

Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement, pour caractériser l'ouvrabilité de béton à l'aide du cône d'Abrams (Photo 1), Le béton est introduit dans le cône sans compaction. Il reste l'outil de contrôle le plus utilisé sur chantier.



Photo 1 : Cône d'Abrams

Cet essai s'effectue pour caractériser la mobilité en milieu confiné (la ségrégation dynamique), La partie verticale du L est rempli de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (entre 3 barres Ø 14 de 50 mm) (Photo 2).



Photo 2 : Boîte en L

Cet essai a été développé par Ozawa et al 1995. Il consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un échantillon de 10 litres de béton à travers un entonnoir en forme de «V» (Photo 3).



Photo 3 : V funnel

On a effectué l'essai de stabilité au tamis pour caractériser la ségrégation statique, consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P_{laitance}) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis ayant des mailles de 5 mm d'ouverture (Photo 4).

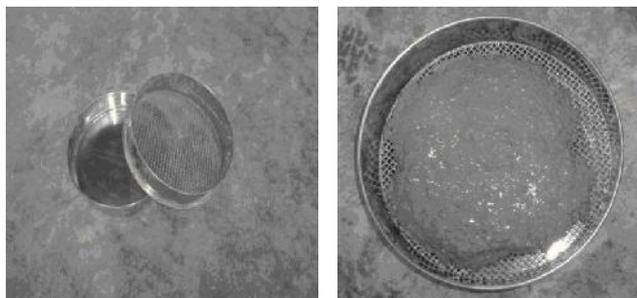


Photo 4 : Tamis utilisés

La mesure de l'air occlus a été effectuée au moyen d'un aéromètre de 7 litres modèle « CONTROLS » (Photo 5).



Photo 5 : Aéromètre utilisé

1.2.2. Techniques expérimentales à l'état durci

Les différentes propriétés mécaniques de BAP sont mesurées et contrôlées par ces procédés à l'état durci.

La presse utilisée est d'une capacité maximale de 3000 KN (Photo 6), asservie en force les essais ont été réalisés sur l'échelle de force la mieux appropriée (600 ou 1500 KN), avec une vitesse de chargement de 0,5 MPa/s.



Photo 6 : Presse de compression

Les essais de flexion trois points sont réalisés sur des échantillons sont soumis à un moment de flexion par application d'une charge constante et continue au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs en trois points sur une presse à vérin hydraulique Photo 7.



Photo 7 : Dispositif de traction par flexion trois points

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Etude à l'état frais

La caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais suivants : L'étalement au cône, écoulement à la boîte en L, la stabilité lors de l'écoulement au V funnel et stabilité au tamis, air occlus.

Les essais ont été effectués selon les procédures décrites par l'AFGC [05].

2.1.1. L'étalement

Il s'agit de démouler un cône normalisé DIN de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette de béton obtenue.

Sur l'histogramme de la figure I, on constate :

L'étalement spécifié pour le béton (BAP_{DM}) est 70 cm de classe S2 (: de 66 à 75cm) donc on obtient un BAP répondant aux exigences de l'AFGC [05].

On remarque que l'augmentation du dosage en superplastifiant ne permet pas de faire augmenter sensiblement l'étalement de béton (BAP_{DM}). Le dosage en superplastifiant obtenu par la méthode japonaise de (BAP_{DM}) est donc égal (ou supérieur) au dosage de saturation pour atteindre un BAP (avec un étalement souhaité) [04].

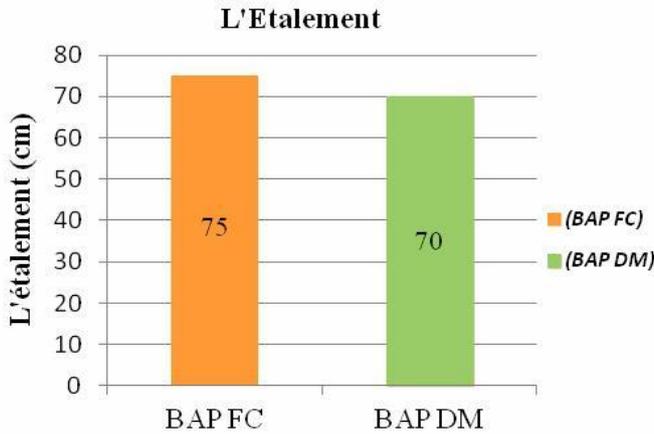


Figure 1 : Comparaison entre l'étalement de de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

L'étalement de béton (BAP_{DM}) diminue de (10%) par rapport à l'étalement de béton (BAP_{FC}). Cette différence est la conséquence de présence des fillers calcaires réduisant la demande en eau qui conduit à une diminution de la viscosité du BAP, et augmente son diamètre d'étalement [06]. Notons que les travaux antérieurs des différents auteurs ne précisent pas la valeur limite de la finesse du calcaire pour que les résultats soient observés.

**Les temps mesuré pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre (T_{50}) pour les (BAP_{DM}) et (BAP_{FC}) sont (6,85s et 2,63s respectivement), Ces valeurs donnent une indication sur la viscosité du matériau [07] . Pour des BAP, la valeur de (T_{50}), généralement, comprise entre 4 et 10 secondes [08] .

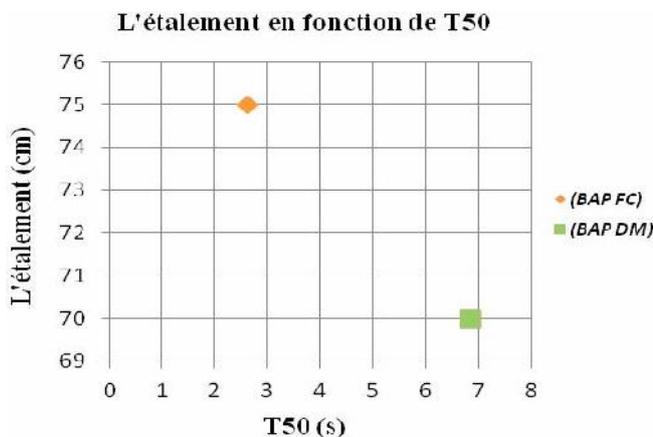


Figure 2 : Etalement en fonction de T_{50}

La figure II on remarque l'étalement en fonction de temps mesuré pour atteindre une galette de 50cm de diamètre (T_{50}), On observe que l'augmentation de l'étalement est liée avec une diminution de temps d'écoulement.

2.1.2. Essai de la boîte en L

Sur la ségrégation dynamique, du béton (BAP_{DM}) testé s'écoule à travers les armatures correctement. Sur ce point, aucun problème n'est à signaler puisque tous les BAP présentent des taux de remplissage supérieur à 0,80.

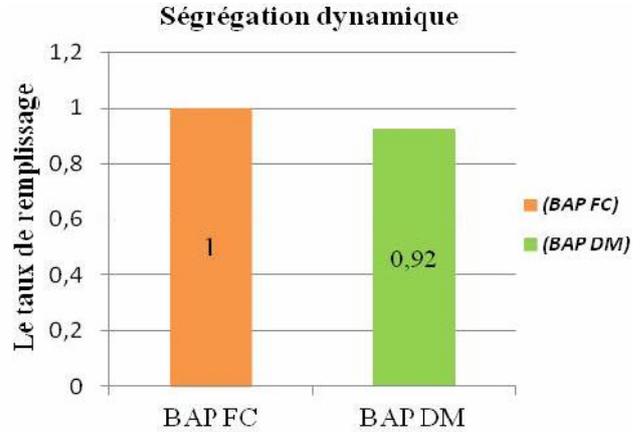


Figure 3 : Comparaison entre le taux de remplissage de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

Sur l'histogramme de la figure 3, on peut remarquer que les résultats représentés sont conformes à ce que l'on peut attendre d'un béton auto plaçant, répondant aux exigences de l'AFGC [05].

Une diminution du taux de remplissage de béton (BAP_{DM}) de (8%) par rapport au béton (BAP_{FC}), et de cela on peut conclure que le béton (BAP_{DM}) est plus visqueux que le béton (BAP_{FC}).

2.1.3. Essai de l'entonnoir

Un autre paramètre à vérifier pour l'ensemble des bétons est le temps d'écoulement. Cet essai est utilisé aussi pour évaluer la stabilité du béton lors de l'écoulement [06].

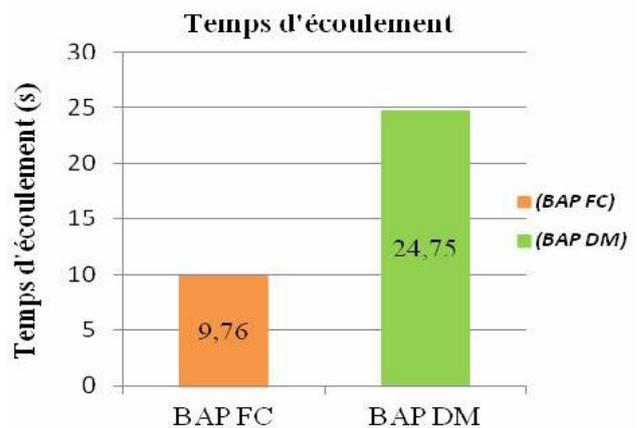


Figure 4 : Comparaison entre le temps d'écoulement de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

Les temps d'écoulement mesurés par l'entonnoir étaient respectivement compris entre 9 et 25 s et ils sont proches des valeurs couramment rencontrées [08].

Le temps d'écoulement mesuré par l'entonnoir est (24,75s) ci concerne le béton (BAP_{DM}), donc cela peut être considéré comme satisfaisant et à la limite du domaine de la spécificité autobloquante.

Nous remarquons sur l'histogramme de la figure IV que le temps d'écoulement de béton (BAP_{DM}) est plus élevé de (60%) que celui de béton (BAP_{FC}). Donc les fillers calcaires peuvent avoir une influence sur la fluidité des BAP par rapport aux fines des déchets de marbre, en d'autres termes, ces fines des déchets de marbre freinent l'écoulement de béton.

2.1.4. Stabilité au tamis

Sur la ségrégation statique, le (BAP_{DM}) présente un taux de ségrégation inférieur à 15% [08], synonyme d'une stabilité satisfaisante, on remarque que le mélange homogène et ne présente pas de risques de ségrégation statique.

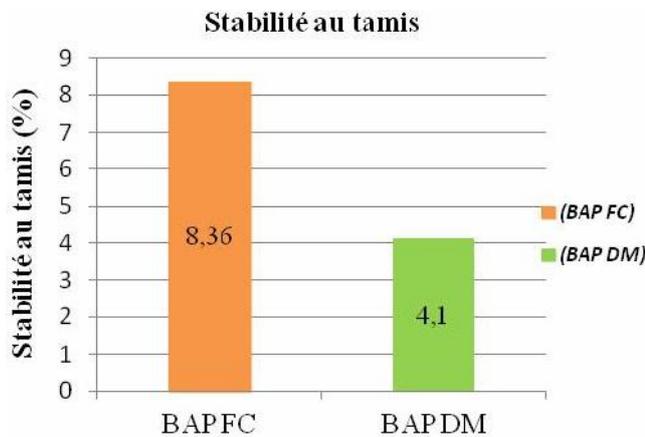


Figure 5 : Comparaison entre la stabilité au tamis de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

Sur l'histogramme de la figure V, on observe que le béton (BAP_{DM}) au milieu non confiné est plus stable que le béton (BAP_{FC}), donc le (BAP_{DM}) à un taux de stabilité plus élevé de (50%) par rapport au béton (BAP_{FC}) (4,10% < 8,36%).

A partir de ce résultat on peut distinguer deux points :

- On sait que l'augmentation du dosage en eau provoque une diminution de la cohésion au sein du mélange qui peut entraîner des phénomènes de ségrégations très préjudiciables, ce qui confirme que l'augmentation du dosage en eau de béton (BAP_{DM}) a permis une correction (ajustement) de la formulation pour l'obtention de bon BAP [04], répondant aux exigences des cahiers des charges.
- On peut noter que l'augmentation du dosage en Superplastifiant a engendré une diminution du taux de ségrégation [09]. Ceci confirme l'influence positive de ce produit vis-à-vis de la ségrégation statique du BAP.

** Donc le BAP à base des fines des déchets de marbre (BAP_{DM}) répond aux exigences d'une bonne fluidité, une stabilité accrue et une capacité de remplissage satisfaisante.

2.1.5. L'air occlus

L'augmentation de la teneur en air accroît généralement la plasticité du béton [10] et les résultats obtenus vont dans ce sens pour le béton (BAP_{DM}) et le béton (BAP_{FC}).

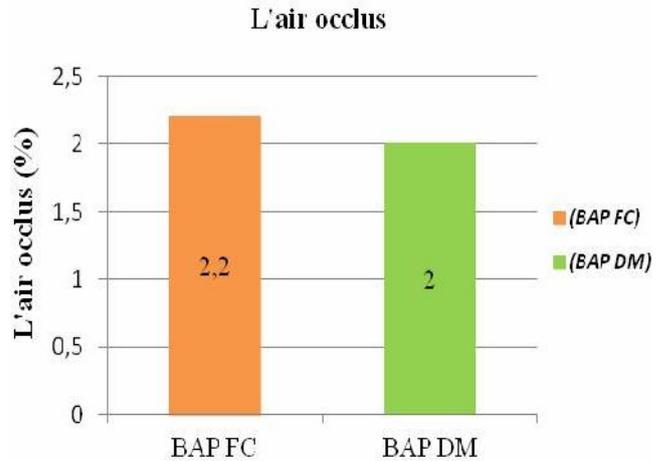


Figure 6 : Comparaison entre l'air occlus de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

D'après l'histogramme de la figure VI on remarque que le béton à base des fillers calcaires

(BAP_{FC}) contient plus d'air que le béton à base des déchets de marbre (BAP_{DM}), donc l'ajout des fines des déchets de marbre diminue de (10%) l'air occlus par rapport aux fillers calcaires. En d'autre terme, l'introduction d'ajout des fines des déchets de marbre entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire (donnent au BAP une microstructure plus dense).

2.2. Etude à l'état durcis

2.2.1. La résistance à la compression

Les essais de compression simple sont réalisés à 3, 7, 28 et 90 jours par écrasement d'éprouvettes de bétons cylindriques 10x20cm qui ont été conservées après démoulage à une température de 20°C et HR=55 ± 5% d'humidité relative.

Tableau 3 : Résistance à la compression en MPa

Désignation de béton	BAP _{DM}	BAP _{FC} (témoins)
Résistance à la compression (MPa)	3j	16,95
	7j	24,97
	28j	42,13
	90j	43,31
		14,62
		24,35
		35,33
		36,03

Sur le tableau 3, on peut constater une augmentation de résistance à la compression de (BAP_{DM}) de l'ordre 2MPa par rapport au (BAP_{FC}) à 3 jours, à 7 jours une différence négligeable et à 28 jours une différence de résistance de (BAP_{DM}) par rapport au (BAP_{FC}) est 6 MPa cette différence est à la hausse à long terme pour atteindre à 90 jours à 8MPa.

** Les résistances à la compression sont présentées en fonction du temps

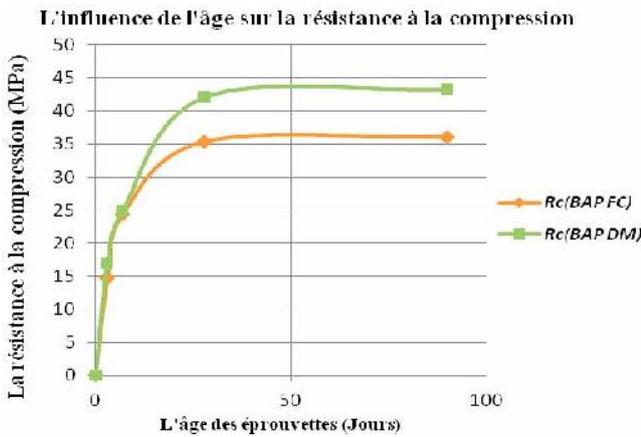


Figure 7 : Evolution de la résistance à la compression Comparaison en fonction du temps de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

En analysant les courbes de la figure VII, on peut voir que les résistances des bétons en fonction du temps sont quasiment croissantes. Elles présentent la même allure quelle que soit le type de béton.

La résistance initiale au jeune âge (3jours) de béton (BAP_{DM}) atteint (40%) par rapport à la résistance à 28 jours, et à 7 jours l'hydratation de béton (BAP_{DM}) affiche une augmentation de résistance de 8MPa. En d'autre terme le béton (BAP_{DM}) atteint presque (59%) ce qui montre que plus de la moitié de la résistance est acquise pendant les 7 premiers jours.

Et entre 28 jours et 90jours, la résistance obtenue de béton (BAP_{DM}) n'enregistre pas une augmentation sensible, on voit une différence de 1 MPa. En d'autres termes une augmentation de (3%) par rapport à 28 jours.

Le béton (BAP_{DM}) donne de meilleures performances que le béton de référence (BAP_{FC}) à jeune âge, moyen et long terme, On rappelle que la quantité de superplastifiant utilisée dans la formulation de (BAP_{DM}) est supérieure à celle employée dans la formulation de (BAP_{FC}) (respectivement de 11,32 à 10.50 kg/m³) et de tels produits peuvent avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique, malgré E/C de béton (BAP_{DM}) est légèrement supérieure que E/C de béton (BAP_{FC}) (respectivement de 0,455 à 0,45). Ce qui confirme le rôle et la fonction d'un retardateur de durcissement joué par le déchet de marbre.

2.2.2. La résistance à la traction par flexion

Les essais de flexion trois points sont réalisés à 3, 7, 28 et 90 jours de mûrissement du béton sur des éprouvettes prismatiques 7×7×28 cm.

On remarque au tableau 4 une augmentation de résistance à la traction de (BAP_{DM}) à 3 jours, 7 jours et 28 jours de (1,5 MPa, 1,18 MPa, 0,68 MPa, respectivement) par rapport au (BAP_{FC}), cette augmentation est remarquable à long terme pour atteindre au 90 jours 3 MPa.

Tableau 4 : Résistance à la traction par flexion en MPa

Désignation de béton	BAP _{DM}	BAP _{FC} (témoins)
Résistance à la traction par flexion (MPa)	3j	4,10
	7j	4,90
	28j	5,01
	90j	11,01
		2,60
		3,72
		4,34
		8,04

** Les résistances à la traction par flexion de béton (BAP_{DM}) qui sont augmente de la même façon que celle à la compression (au jeune âge et moyen terme) et plus rapide (à long terme).

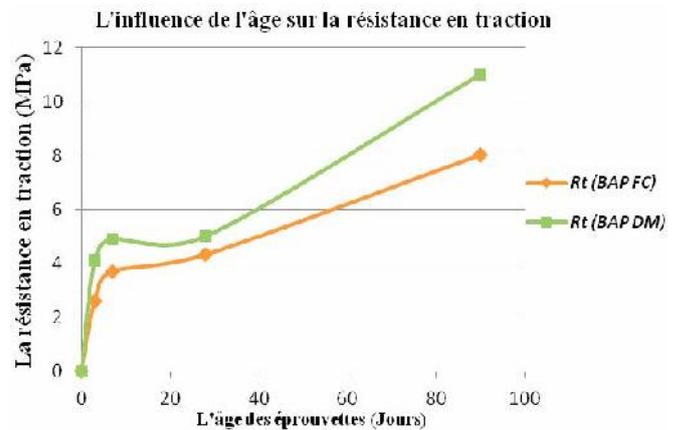


Figure 8 : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps de (BAP_{FC}) et (BAP_{DM}).

Suivant la figure VIII ce qui concerne la résistance à la traction par flexion de béton (BAP_{DM}) l'augmentation de cette résistance entre 3 jours et 7 jours (81% et 97% respectivement) par rapport à la résistance à 28 jours, ce qui montre que plus 80% de la résistance à la traction par flexion est acquise pendant les 7 premiers jours.

Entre 28 jours et 90jours, l'hydratation de béton (BAP_{DM}) affiche un gain de 6MPa en plus. En d'autres termes, une augmentation de (55%) par rapport à 28 jours, ce qui montre que l'hydratation du ciment est perturbée par l'introduction des fines des déchets de marbre.

CONCLUSION

Cette étude apporte un éclairage sur la valorisation des fines des déchets de marbre +comme addition pour la formulation des bétons autoplaçants.

La composition et le comportement à l'état frais des BAP sont plus complexes que celle d'un béton traditionnel. En effet, leur composition spécifique nécessite la mise en place d'un contrôle soutenu de leur formulation, ainsi qu'un contrôle de leurs propriétés à l'état frais, avant la mise en œuvre. Selon l'analyse précédente on peut qualifier que le béton à base des fines des déchets de marbre (BAP_{DM}) répond aux exigences d'une bonne fluidité, une stabilité

accrue et une capacité de remplissage satisfaisante, (satisfait les conditions de L'AFGC à l'état frais).

Une première remarque pourrait être faite sur les performances obtenues par les bétons autoplaçants à base des fines des déchets de marbre (BAP_{DM}). Il est visible que l'on obtient de bon béton en termes de résistances mécaniques (la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion) par rapport le BAP à base des fillers calcaires (BAP_{FC}), qui sont dues essentiellement à la présence d'une quantité importante des fines des déchets de marbre comme addition dans les (BAP_{DM}), qui peuvent également avoir une action positive sur leurs compacités et par conséquent donne une matrice homogène, afin de favoriser l'amélioration des qualités mécaniques et de la durabilité du béton durci, Cela nous conduit à conclure que les déchets de marbre sont aptes à être utilisés comme addition dans la confection des bétons autoplaçants.

Références

- [01] Hebhoub H.; Belachia M. «Marble waste sand introduction into the hydraulic concrete» rapport de recherche, Nature Technologie 2011,08pages.
- [02] Hebhoub H.; Belachia M.«Introduction of sand marble wastes in the composition of mortar» rapport de recherche, Structural Engineering & Mechanics 2014,06pages.
- [03] Ayed K. ; Benaissa A. ; Mouli M. «Amélioration des propriétés mécaniques des BAP par traitement mécanique des déchets de carrière de sable siliceux» rapport de recherche, SICZS 2010,07pages.
- [04] Chibani N.; Houari H. «Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base des Granulats Recyclés: Cas des fines de marbre.»Thèse de magistère, Université Oum-El-Bouaghi, 2013,133pages.
- [05] Association Française de Génie Civil «Bétons autoplaçants- janvier 2008».
- [06] Turcry P. «Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants ,Influence de la Formulation» Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes 2004,230pages.
- [07] Hasni L. «Bétons Autoplaçants» Synthèse bibliographique Rapport de Recherche N°98-004/98-006, Fédération Française du Bâtiment CEBTP juillet 1999.
- [08] Bensebti S. «Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base des matériaux locaux»Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine, Juillet 2008 ,157pages.
- [09] Neville A.M.«Propriétés des Bétons »Traduction CRIB, Sherbrooke,Canada, éd. Paris Eyrolles 2000,824pages.
- [10] Benkechache G. «Contribution a l'étude des mécanismes liés au retrait et fluage des bétons »Thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, Avril 2012,228pages. [1] Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés. Direction des Risques Professionnels, Octobre 2014.