



Valorisation du déchet de marbre et de la pouzzolane naturelle dans les mortiers **(Valorization of waste marble and natural pozzolan in mortars)**

A.H. Mohammed Belhadj^{1*}, A. Mahi², M.Z. Kazi Aouel¹, R. Derbal¹, H. Abdelhadi²

¹Smart Structures Laboratory (SSL)UnivCtr of Ain Temouchent, Po Box 284,46000,Algeria.

²Civil Engineering Department, Faculty of Architecture and Civil Engineering, USTO (Mohamed Boudiaf), BP. 1505, El Menaouar, 31000 Oran, Algeria.

* Email:mb_ah1@yahoo.fr; Tel: +213662465732

Abstract

This study aims to valorization of marble powder and natural pozzolan as an addition in the building materials to cementitious matrix. The main purpose of this study is to highlight the possibility of recycling the marble waste and used as an addition in concrete. The study is a characterization of materials which allow for the formulation of mortars based on the natural pozzolan and marble powder. In this sense, we studied a series of runs, varying the rate of addition of the pozzolan and that of marble powder and the rate of the adjuvant. A comparison of the results with a control mortar without addition is established. XRD analyzes were conducted on different materials.

Keywords: Recycling, environment, waste marble, pozzolan, adjuvant, XRD.

Résumé

Cette étude a pour objectif la valorisation de la poudre de marbre et de la pouzzolane naturelle comme ajout dans les matériaux de construction à matrice cimentaire. Le but principal de cette étude est de mettre en évidence la possibilité de recycler les déchets de marbre et l'utiliser comme ajout dans le béton. L'étude est une caractérisation des matériaux utilisés qui permet de formuler des mortiers à base de la pouzzolane naturelle et de la poudre de marbre. Dans ce sens, nous avons étudié une série d'essais, en variant le taux d'ajout de la pouzzolane et celui de la poudre de marbre ainsi que le taux de l'adjuvant. Une comparaison des résultats avec un mortier témoin sans ajout est établie. Des analyses de DRX ont été réalisées sur les différents matériaux.

Mots clés : Recyclage, environnement, déchet de marbre, pouzzolane, adjuvant, DRX.

1. Introduction

Le besoin universel de protéger l'environnement et de bien gérer les ressources, nécessitent d'établir des nouveaux lois et d'adapter des nouveaux concepts [1]. La valorisation et le recyclage des déchets est un moyen efficace face aux contraintes d'ordres économiques et écologiques de ces dernières années [2-3]. Les déchets constituent un réel problème, inévitable à toute vie biologique et à toute activité industrielle [4]. Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement [5]. Le recyclage a deux conséquences écologiques bénéfiques: la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles [6].

On estime que seulement 30% des matériaux utilisés dans la construction sont actuellement recyclés, alors que la pratique dans certains pays européens, démontre que 90% sont réutilisables [7]. En France la loi du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets et la protection de l'environnement interdit à partir de l'an 2002

la mise dans les anciennes décharges des déchets tels que les matériaux de démolition [8]. Le Danemark dispose d'une loi spécifique depuis 1990 concernant l'utilisation des granulats recyclés. En 2007, l'Europe a élaboré une législation pour encadrer la gestion des déchets [9].

L'Algérie compte un déficit important en matériaux de construction et en particulier le ciment. Face à la gravité des problèmes environnementaux dû à la surexploitation des ressources, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 million de dinars, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) [10].

Le but principal de ce travail est de mettre en évidence la possibilité d'utiliser le déchet de marbre et la pouzzolane naturelle comme addition dans le mortier. Cette étude consiste à caractériser les matériaux utilisés pour la confection des mortiers. Dans ce sens, nous avons mené une série d'essais, comprenant des mortiers avec un rapport E/C (eau /ciment) constant et une teneur en addition et en adjuvant variable. Ce travail consiste également à analyser les propriétés mécaniques à l'état frais et durci des mortiers avec un taux variant entre 0 à 12.5% pour l'addition (déchet de marbre et pouzzolane) et entre 0 à 4% pour l'adjuvant. Les résultats de ces essais sont comparés avec ceux d'un mortier témoin. Des analyses de DRX ont été effectuées sur les différents matériaux.

2. Caractérisation des matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour cette étude sont :

2.1 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CEMII/ACPJ 42.5, conforme à la norme NA442[11], EN197-1 et à la norme AFNOR NFP 15-301/94 et il dépasse considérablement les exigences de résistance de ces normes.

Tableau 1: Composition chimique en %.

Chimique									
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	alcalis	MgO	Chlorures	PAF	Insolubles
60.06	21.00	5.40	3.76	2.20	0.4-0.6	2.19	0.01-0.03	4-42	4.6

Tableau 2: Composition minéralogique en %.

Minéralogique			
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
59 – 64	14 -18	6 - 8.5	10 -12

2.2 La pouzzolane

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle de provenance du gisement de BOUHAMIDI (Béni-Saf, Ain Témouchent). Cette pouzzolane est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie, de diamètres variant entre 50 et 100 mm. Ces roches sont concassées et criblées afin d'obtenir les fractions granulaires utilisées dans le présent travail selon la norme ASTM C618[12]. Les caractéristiques chimiques sont données dans le tableau 3.

Tableau 3: Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle.

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Cl	P.F	Total
Les teneurs (%)	47.48	12.83	1.51	3.92	0.34	Nul	Nul	0.21	100.29

Une analyse à la diffraction des rayons X de la pouzzolane après séchage, broyage et tamisage (passant à 80µm) est présentée sur la figure 1.

L'analyse chimique de la pouzzolane de Beni-Saf montre qu'elle peut être considérée comme un matériau

pouzzolanique d'après les normes en vigueur. La norme française exige que les pouzzolanes doivent être composées essentiellement de la silice SiO_2 réactive avec une teneur $\geq 25\%$ et de l'alumine Al_2O_3 .

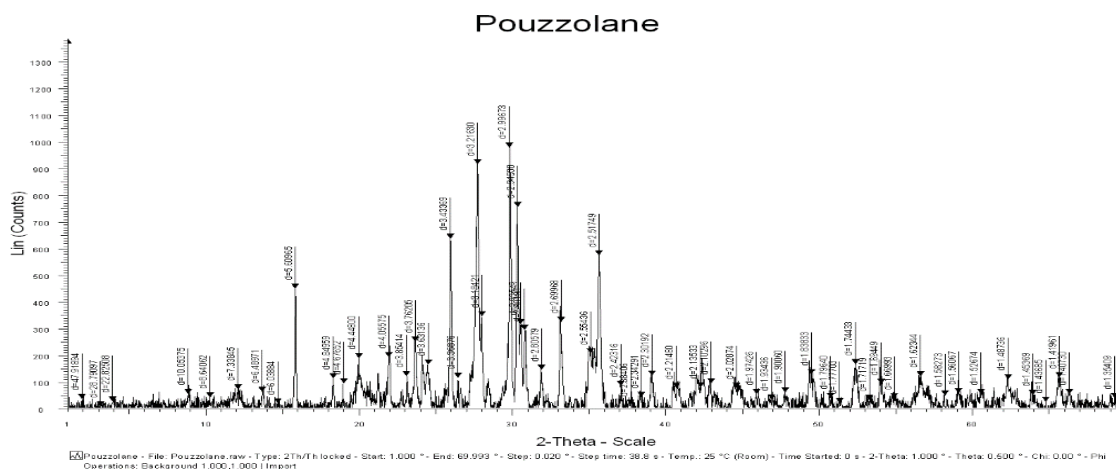


Figure 1: Spectre de diffraction des rayons X de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.

2.3 Poudre de marbre blanche

La poudre du marbre utilisée est le déchet des marbreries dues au découpage des pièces en marbre blanc. Les caractéristiques chimiques de cette poudre sont données dans le tableau 4.

Tableau. 4: Composition chimique de la poudre de marbre.

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	ZnO	SrO	ZrO ₂
%	39.43	1.24	0.382	0.174	2.55	0.18	0.005	0.096	0.021	0.002	0.005

Une analyse à la diffraction des rayons X de la poudre de marbre après séchage, broyage et tamisage (passant à 80 μm) est présentée sur la figure 2.

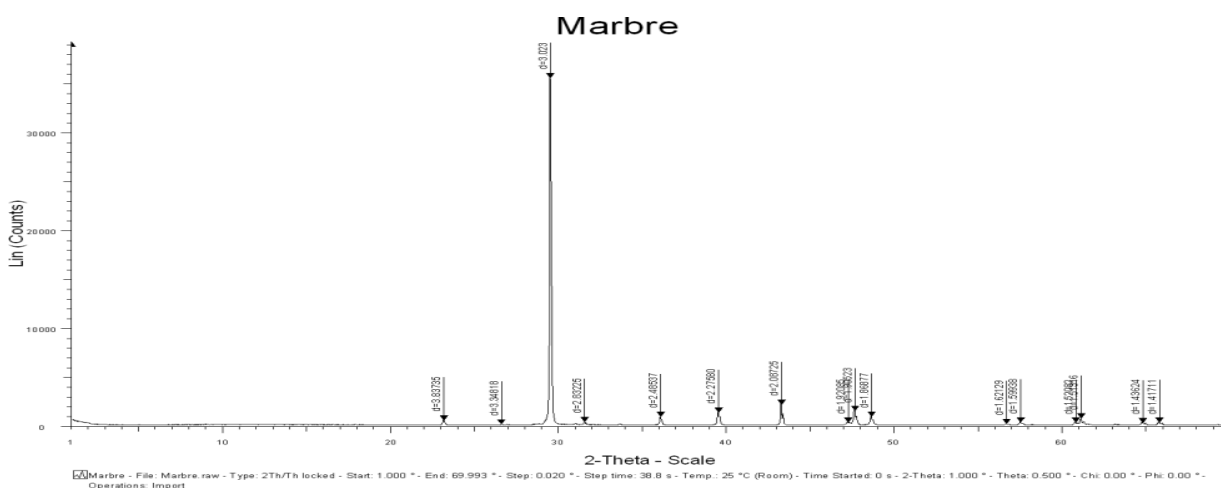


Figure 2: Spectre de diffraction des rayons X de la poudre de marbre.

On constate que l'élément dominant dans la poudre de marbre est le carbonate de calcium CaCO_3 .

2.4 Sable

Pour la confection des mortiers, nous avons utilisé un sable calcaire concassé 0/3, provenant de la carrière d'EL MALEH (Ain Témouchent, Algérie).

Tableau 5: Les caractéristiques physiques du sable

Paramètres physiques	Valeurs
Masse volumique absolue	2.53 g/cm ³
Equivalent de sable	84%
Module de finesse	2.55
Coefficient d'absorption	0.5
Nature	Calcaire

2.5 L'eau

Nous avons utilisé l'eau potable du robinet pour la confection des mortiers.

2.6 Les adjuvants

Les adjuvants utilisés sont des plastifiants et super-plastifiants réducteurs d'eau de la nouvelle génération. Ils sont conçus à base de poly carboxylate qui améliore considérablement les propriétés des bétons, et permettent d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité [13].

Tableau 6: Adjuvants utilisés

Adjuvant	Nature
SIKA VISCORETE TEMPO 12	plastifiant et super-plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de la nouvelle génération
SIKA PLAS RDZ+	Super-plastifiant avec maintien de la rhéologie
SIKAPLAST BV40+	plastifiants, réducteur d'eau
SIKA PLASTI RETARD	Retardateur de prise, réducteur d'eau

3. Programme expérimental

3.1 Confection des éprouvettes

Pour notre démarche expérimentale, on a préparé huit types de mortiers avec des pourcentages d'ajout allant de 0 à 12.5% de pouzzolane et de la poudre de marbre ainsi qu'une variation de taux de l'adjuvant. Les essais ont été réalisés en utilisant des éprouvettes de dimensions de 4x4x16 mm.

Les différentes compositions des mortiers sont regroupées dans le tableau 7.

Tableau 7: Formulation des mortiers étudiés

Mortier	Sable	Ciment CEMII 42.5	Pouzzolane	Poudre de marbre	Eau	adjuvant
G1	1350	350	0	0	175	0
G2	1350	350	43.75	0	168	4% SIKAPL STBV40+
G3	1350	350	0	43.75	168	4% SIKAPL STBV40+
G4	1350	350	22.75	22.75	168	4% SIKAPL STBV40+
G5	1350	350	43.75	0	171.5	2% SIKA VISCORETETEMPO12
G6	1350	350	43.75	0	171.5	2% SIKA PLAS RDZ+
G7	1350	350	22.75	22.75	168	2% SIKA VISCORETETEMPO12
G8	1350	350	0	43.75	171.5	2% SIKA PLAS RDZ+

Nous avons effectué sur les mortiers durcis des mesures de la résistance à la compression sur éprouvette 4x4x16 à 7, 14, 21 et 28 jours respectivement.

L'utilisation des adjuvants nous a permis de réduire le rapport E/C et E/L (eau/liant). Les taux de cette réduction sont illustrés par la figure 3.

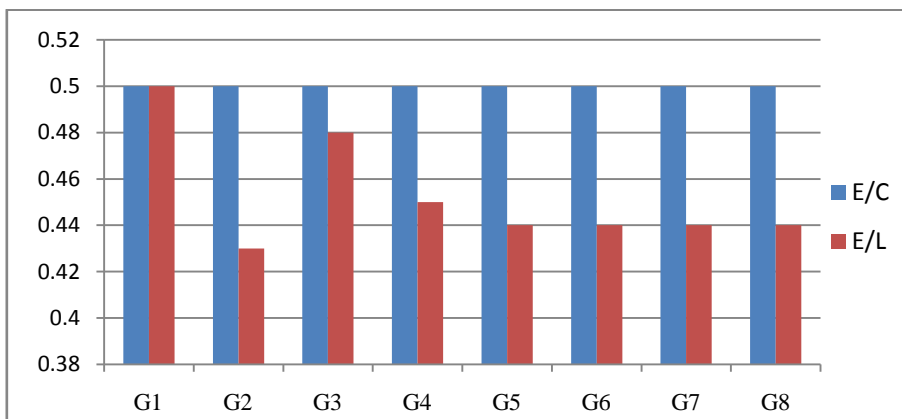


Figure 3: Rapport E/C et E/L des mortiers

L'utilisation des adjuvants a réduit la quantité d'eau et augmente la résistance et la maniabilité du mortier [13].

4. Résultats et discussion

Les essais de résistance en compression des mortiers ont conduit aux résultats suivants :

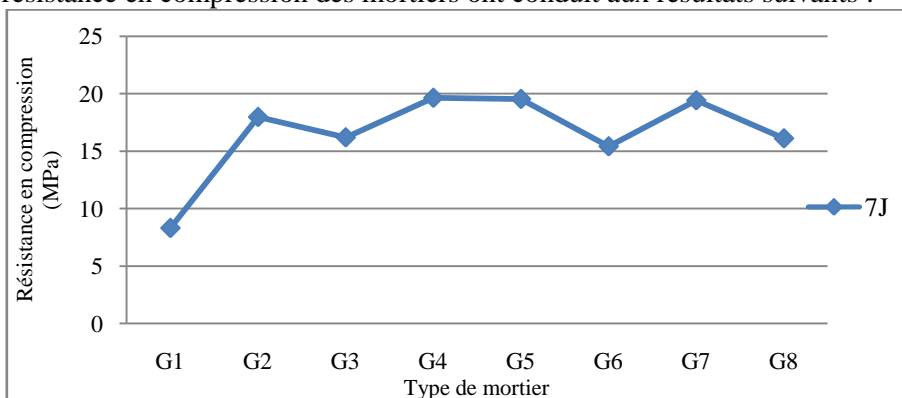


Figure 4 : Résistance en compression des mortiers à 7 jours.

Au niveau de la figure 4, on constate que l'utilisation des ajouts a donné des résultats bénéfiques par rapport au mortier de référence (sans ajout : G1) même à jeune âge. Les meilleures performances sont obtenues par les mélanges G4, G5 et G7.

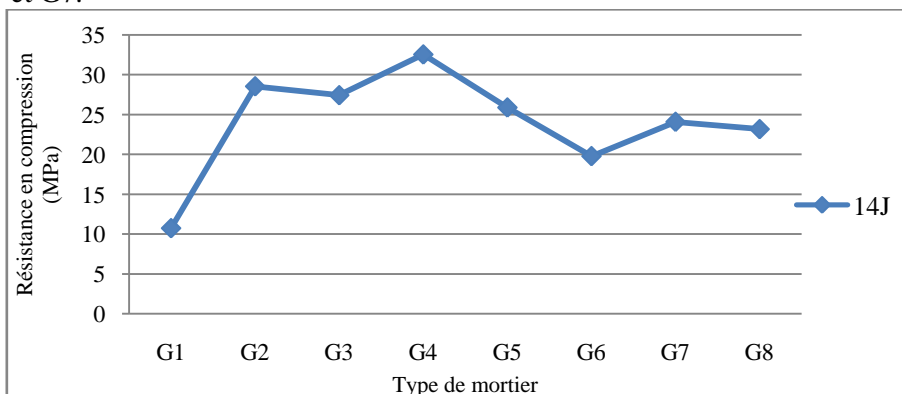


Figure 5: Résistance en compression des mortiers à 14 jours.

Les résistances initiales à jeune âge (14 jours) des mortiers donnent aussi de bonnes performances par rapport au mortier de référence (figure 5). Cela est dû à l'utilisation des ajouts comme poudre fine et aussi à l'utilisation des adjuvants surtout ceux de la nouvelle génération. L'utilisation de ces ajouts permet aussi d'améliorer la rhéologie des mortiers à l'état frais. Les mélanges à base des deux ajouts (poudre de marbre et pouzzolane) donnent de meilleurs résultats à savoir G4 et G7.

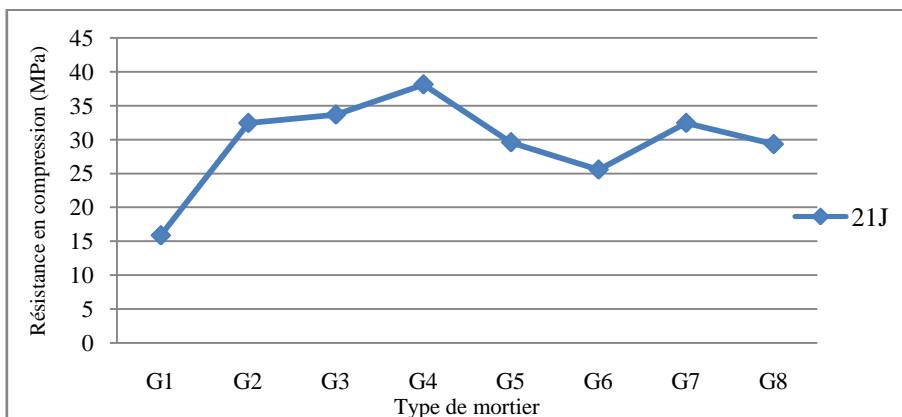


Figure 6: Résistance en compression des mortiers à 21 jours.

Les mêmes résultats précédents (à 14 jours) sont observés dans la figure 6 (à 21 jours : augmentation de la résistance en compression). On peut observer aussi que les mortiers G2, G3 et G7 ont presque les mêmes valeurs, tandis que le mortier G4 donne toujours la meilleure résistance.

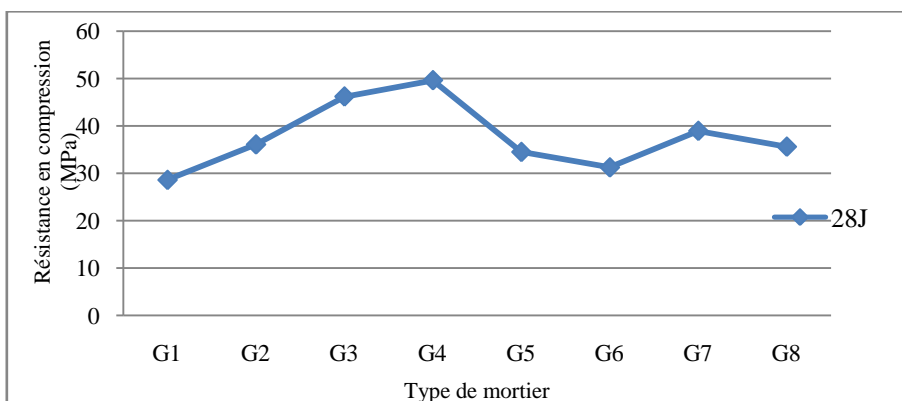


Figure 7: Résistance en compression des mortiers à 28 jours.

La valeur maximale de la résistance en compression à 28 jours est de 49.65 MPa (figure7). Ce résultat correspond au mortier G4. On constate que le mortier G3 a donné aussi un résultat satisfaisant à savoir une résistance en compression de 46.22MPa.

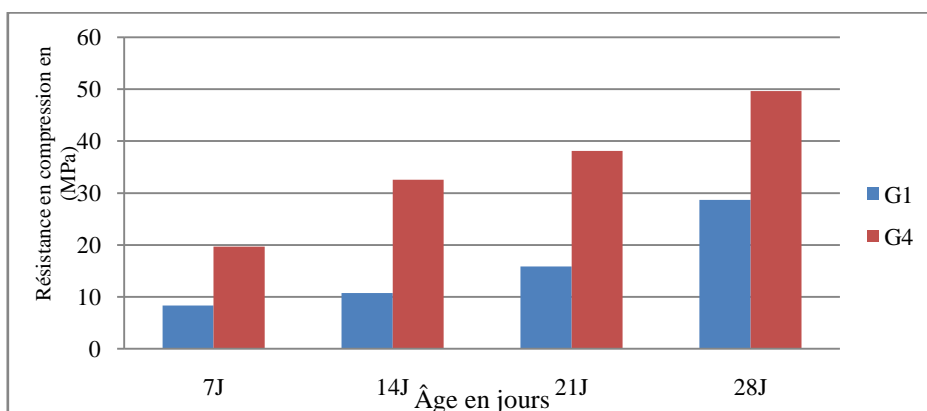


Figure 8: Comparaison entre les résultats des résistances en compression des mortiers G1 et G4.

La différence de résistance à la compression entre le mortier de référence G1 et le mortier G4, illustrée dans la figure 8, est nettement visible. L'ajout de la pouzzolane et la poudre de marbre engendrent des modifications significatives sur les propriétés des mortiers à l'état frais et durci.

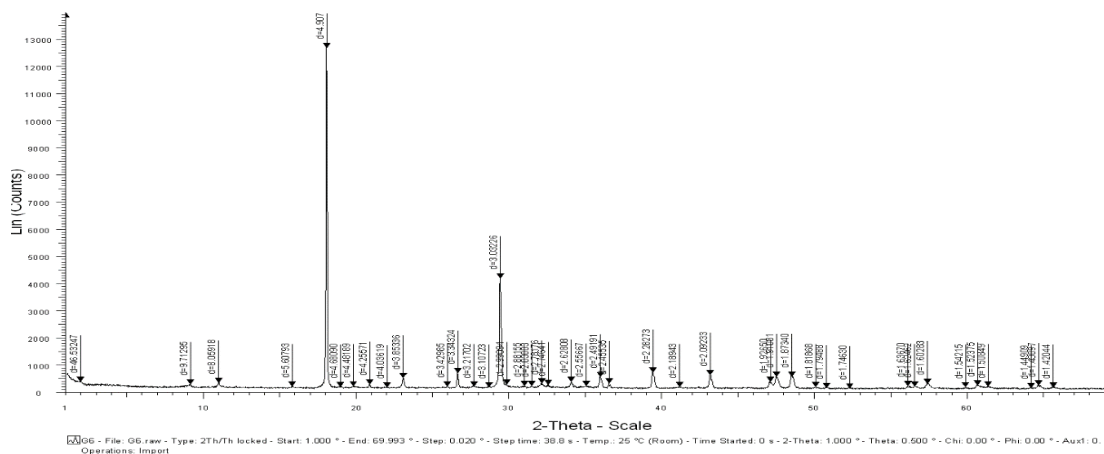


Figure 9: Spectre de diffraction des rayons X du mortier G4.

Les deux pics observés sur ce spectre (figure 9) correspondent aux carbonates ($d=4.907$) et aux silicates ($d=3.032$) dû à la présence de marbre et de la pouzzolane.

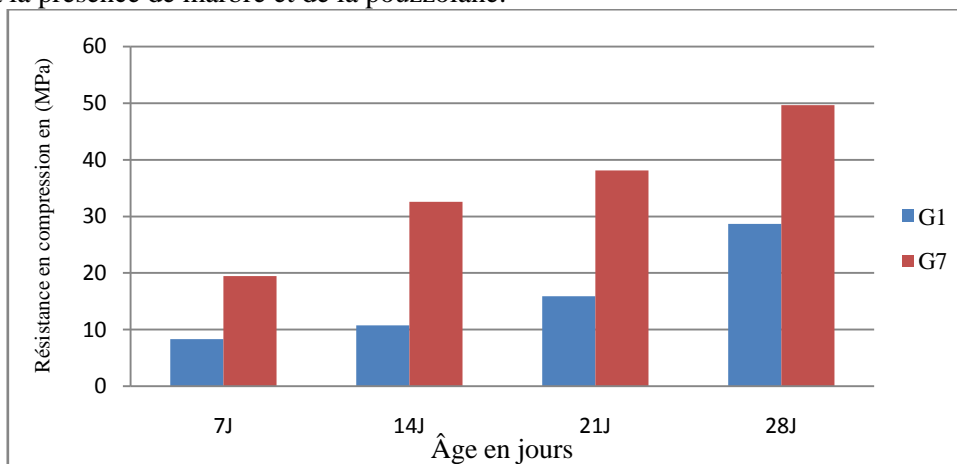


Figure 10: Comparaison entre les résultats des résistances en compression des mortiers G1 et G7.

Le mortier G7 est la combinaison de la pouzzolane, la poudre de marbre et l'adjuvant SIKA VISCORETE TEMPO12 (figure 10), donne des résultats semblables à ceux du mortier G4.

Au niveau de la figure 11, on observe deux pics presque identiques qui représentent le taux des carbonates et des silicates. On constate qu'il y a la même quantité de ces deux éléments dans la gâchée G7.

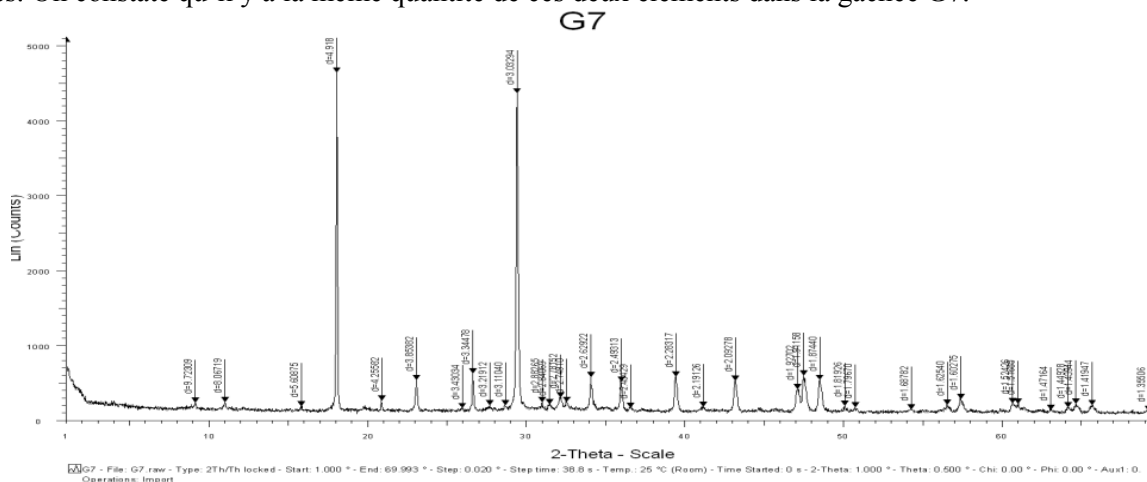


Figure 11: Spectre de diffraction des rayons X du mortier G7

On observe aussi que la quantité des silicates dans la gâchée G4 est inférieure à celle de la gâché G7 qui explique la grande résistance en compression de G4. On peut conclure que ces silicates ont été consommés dans la fabrication du gel de silice.

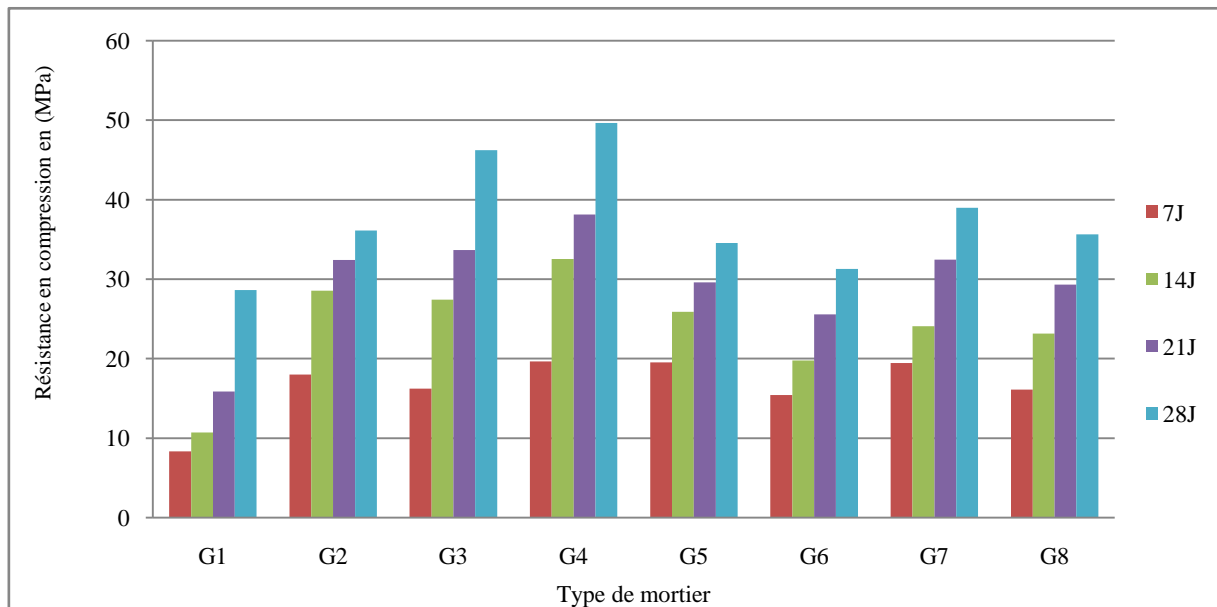


Figure 12: Evolution de la résistance en compression en fonction de l'âge.

La figure 12 regroupe les résultats des essais de résistance à la compression. Ces résultats nous ont permis de constater que la présence de la pouzzolane avec l'adjuvant BV40 (mortier G2) a fait augmenter la résistance à la compression par rapport au mortier de référence G1 d'environ 30%.

L'ajout de la pouzzolane et de la poudre de marbre engendre des modifications significatives sur les propriétés des mortiers à l'état frais et durci. L'ajout de la poudre de marbre et la pouzzolane avec l'adjuvant BV40 (mortier G4) a donné une amélioration de la résistance à la compression d'environ 74%. Le mortier avec de la poudre de marbre et adjuvant BV40 (mortier G3) affiche une résistance de 62% par rapport au mortier de référence (mortier G1). L'adjuvant Sika BV40 est le mieux adapté pour cette étude parce qu'il donne les meilleurs résultats par rapport aux autres adjuvants utilisés.

Conclusion

Une étude comparative en variant le taux d'ajout de la pouzzolane et de la poudre de marbre et celle de l'adjuvant avec un mortier témoin sans ajout a été réalisée. Les résultats de cette étude nous ont permis de constater que la présence de la pouzzolane avec adjuvant a augmenté la résistance à la compression du mortier. Nous avons constaté aussi que de la poudre de marbre avec adjuvant a fait grimper la résistance à la compression. Les meilleurs résultats sont obtenus à partir de la combinaison des deux ajouts : la pouzzolane et la poudre de marbre.

La pouzzolane et un matériau naturel et la poudre de marbre et un déchet de la production des éléments en marbre ; leur valorisation peut être bénéfique dans le cadre économique et environnemental. L'ajout de ces deux matériaux donne des avantages et améliore les caractéristiques mécaniques des mortiers. Notons que ces matériaux sont peu onéreux particulièrement pour le déchet de marbre où il y a lieu de compter que les frais de transport. La valorisation du déchet de marbre se voit donc accorder la primauté pour des raisons non seulement écologiques mais également économiques.

Références

1. Faiz Z., Fakhi S., Bouih A., Idrissi A., Mouldouira M., *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (6) (2012) 1129-1136.
2. Kherbache S., Bouzidi N., Bouzidi M. A., Moussaceb K., Tahakourt A.K., *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 18-29.
3. Handel N., Hafsi B., Touati A., Djabbar Y., *J. Mater. Environ. Sci.* 2 (S1) (2011) 520-525.
4. Chaid R., Jauberthie R., Zeghiche J., Kherchi F., *Eur. J. Environ. Civil Eng.* 15(3) (2011) 427-445.
5. Hebhoub H., Belachia M., *Revue Nature et Technologie.* 4 (1) (2011) 41-46.
6. Senhadji Y., Escadeillas G., Mouli M., Khelafi H., Benosman S., *Powder Technology.* 254 (2014) 314-323.
7. Lasfar S., Mouallif I., Latrach A., Chergui M., Choukir A., Diab A., *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11) (2015) 3002-3014.
8. Dupain R., Lanchon R., Santattoman J.C., Granulats, sols, ciments et bétons caractéristiques des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, *Edition Casteilla.* Paris 2000.
9. Senhadji Y., Escadeillas G., Khelafi H., Mouli M., Benosman A.S., *European Journal of Environmental and Civil Engineering.* 16 (1) (2012) 77-96.
10. Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), *Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.* Janvier 2002, Algérie.
11. NA 442, Norme Algérienne [Algerian Standards] Liants Hydrauliques, Ciments Courants, Composition, Spécification, IANOR, Algiers, 2003.
12. ASTM C618-01, Standards specification for coal ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in concrete, *Annual book of ASTM, Concrete and Aggregates.* 04 (02) (2002).
13. Boudchicha A., Action des additions et super-plastifiant sur les mortiers et bétons, *Edition Européennes,* (2011).

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>