

Contribution à l'étude de l'effet de l'activation sur le comportement mécanique des géopolymères

BENALIA S ¹, ZEGHICHI L ²

¹Laboratoire de Matériaux et Mécanique des Structures LMMS, Université de M'sila; Algérie.

²Laboratoire de Matériaux et Mécanique des Structures LMMS, Université de Biskra, Algérie.

RESUME L'industrie du ciment fait face aujourd'hui à un problème environnemental majeur dû aux émissions de CO₂ lors de la production du clinker du ciment Portland (CP). Bien que des efforts soient faits pour minimiser cet impact négatif sur l'environnement par l'utilisation de sous-produits industriels lors de la fabrication du clinker ou en remplacement partiel du ciment pendant la conception du béton, le crédit carbone reste toutefois élevé. Une des solutions est de remplacer totalement le CP par une nouvelle génération de liants minéraux connus sous le nom de géopolymères qui possèdent des propriétés similaires au CP. Ces liants sont obtenus par l'activation alcaline de matériaux siliceux ou aluminosilicates. L'objectif de cette étude était d'obtenir des liants de type pouzzolanique à température ambiante (20° C) à partir de l'activation alcaline des géopolymères à base du métakaolin et laitier à différents pourcentages. De plus, différents types d'activateurs ont été utilisés, un solide (NaOH) et un liquide (Na₂SiO₃ x H₂O). Les résultats mettent en évidence la possibilité d'obtenir un liant résistant (des résistances à la compression dépassant 75 Mpa à 28 jours).

Mots-clefs Géopolymère, métakaolin, laitier, solution d'activation, résistance.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, le béton est le matériau le plus consommé partout à travers le monde, cette consommation va évoluer au cours des années à venir car la population ne cesse de croître.

Les ciments géopolymères sont des matériaux innovants et sont une alternative au ciment portland classique, produit à partir de calcaire, d'argiles et des déchets industriels (cendres volantes, laitier de haut fourneau...).

Les géopolymères sont des matériaux minéraux aluminosilicatés constitués de chaînes réticulées de type Si-O-Al-O. Ces matériaux sont obtenus par activation d'une source aluminosilicatée à partir d'une solution fortement alcaline (Duxson, 2006).

La présence d'activateurs fortement alcalins est indispensable pour que la réaction de géopolymérisation ait lieu. Les activateurs alcalins ont pour fonction d'accélérer la dissolution de la source d'aluminosilicate favorisant la formation d'hydrates stables à faible solubilité et la formation d'une structure compacte avec ces hydrates. Les propriétés physiques et chimiques des

activateurs jouent un rôle important dans le comportement du matériau activé. Les activateurs généralement utilisés sont des hydroxydes ou des sels alcalins, dont les plus utilisés, et économiquement avantageux sont le NaOH, le Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ et le Na_2SO_4 .

Cette recherche vise à obtenir des liants de type pouzzolanique à partir de l'activation alcaline du métakaolin et de laitier à température ambiante (20 ° C), respectueux de l'environnement que ceux basés sur Le CP.

II. MATERIAUX UTILISES

Deux matériaux locaux ont été utilisés ; un métakaolin (MK) obtenu après un traitement thermique d'un kaolin local à 650°C pendant 5 h avec une masse volumique de 2.57 g/cm³ et une surface spécifique de 4550 cm²/g et un laitier de haut fourneau (LHF) d'une masse volumique de 2.54 g/cm³ et une surface spécifique de 4300 cm²/g activés par deux sources alcalines :

- hydroxyde de sodium NaOH avec une molarité de 12 mol/l.
- Silicate de sodium Na_2SiO_3 (VS) commercialisé avec une concentration de 44.64 %.

Les propriétés chimiques des matériaux utilisés sont présentées sur le tableau 1.

TABLEAU 1. Analyse chimique (% en poids)

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	SO ₃	P.A.F*	Fe
MK	20.72	0.53	2.81	3.30	0.11	0.27	70.83	0.03	1.50	-
LHF	10.98	41.07	1.14	0.39	7.73	0.29	33.6	1.56	1.48	-
VS	-	-	-	-	-	15.40	29.24	-	-	< 40 ppm

* Perte au feu

III. MELANGES PREPARES , RESULTAS ET DESCUSSION

Des éprouvettes cubiques 4x4x4 cm de pâte pure ont été confectionnées à base des mélanges cités au tableau 1, le gâchage des différentes compositions se fait par le composant alcalin dilué dans l'eau jusqu'à l'obtention de la molarité désirée (NaOH) avec un rapport solution/poudre (S/P) étant égale à 0.40.

TABLEAU 2. Mélanges préparés (% en poids)

Désignation	A	B	C	D	E	F	G	H	I
%MK	100	100	100	80	80	80	50	50	50
%LHF	-	-	-	20	20	20	50	50	50
%VS	100	-	80	100	-	80	100	80	50
% NaOH	-	100	20	-	100	20	-	20	50

A. Essai de résistance en compression

L'essai consiste à déterminer les résistances en compression (R_c) à 28 jours sur des cubes de pâte (40 mm de côté) selon la norme NF EN 196-1, (trois essais par mélange). La barre d'erreur indiquée dans la Fig. 1 représente \pm l'écart type.

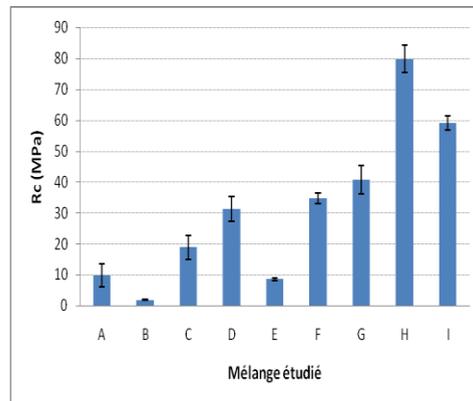


FIGURE 1. Résistance en compression en fonction des différents mélanges

B. Effet de la nature de l'activant

Pour mieux comprendre l'influence de l'activant, la Fig. 2 présente l'évolution de la résistance en compression en fonction de la teneur du verre soluble (VS) et celle du métakaolin.

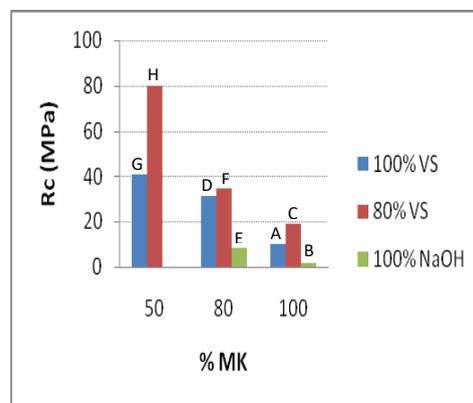


FIGURE 2. Résistance en compression en fonction de pourcentage de MK, VS et NaOH

D'après les résultats on note que les mélanges contenant le verre soluble sont plus résistants, donc ce dernier est plus efficace par rapport à NaOH ($E = 08.56$ MPa / $D = 31.32$ MPa) et ($B = 01.80$ MPa / $A = 09.79$ MPa). En plus, l'ajout du NaOH de (20%) à la solution commerciale (VS) augmente la résistance car il augmente le pH de la solution et rend plus réactive les espèces silicatées qui jouent un rôle important dans la formation du gel géopolymérique ($A = 09.79$ MPa / $C = 18.85$ MPa), ($D = 31.32$ MPa / $F = 34.75$ MPa) et ($G = 40.75$ MPa / $H = 79.77$ MPa). Ces résultats sont en accord avec les observations de (Shi et al., 2006) qui note que l'utilisation de solutions alcalines avec des solutions de silicates de sodium ou de potassium génèrent des cinétiques de réaction plus élevées que les solutions d'hydroxydes alcalins. Et d'après (Runzhang et al., 1988) seulement les solutions possédant des PH supérieurs à 12 qui favorisent la solubilité des constituants du laitier, et par suite la formation des hydrates et ainsi le développement des résistances mécaniques.

C. Effet de la teneur en laitier

L'augmentation de la teneur en laitier entraîne une augmentation de la résistance (A=09.79 MPa/ D=31.32 MPa / G= 40.75 MPa), (C= 18.85 MPa / F= 34.75 MPa/ H= 79.77 MPa) et (B=01.80 MPa/ E=08.56 MPa) ,à cause de la composition chimique du laitier de haut fourneau (laitier granulé) qui est proche de celle du ciment Portland ordinaire (CP). Le principal produit d'activation des scories de haut fourneau est un gel d'hydrate d'aluminosilicate de calcium (C-A-S-H) similaire au gel généré dans l'hydratation ordinaire du ciment Portland, mais avec un rapport Ca / Si inférieur, généralement compris entre 0,9 et 1,2 (Wang et al., 1995) (Myers et al., 2013). Lorsque l'activateur utilisé est un silicate de sodium hydraté (verre soluble), le silicium dans la solution induit une baisse du rapport Ca / Si à 0,8 , ce qui favorise la formation des chaînes moyennes ou plus longues et des structures comparables aux tobermorites donnant un produit final qui présente une résistance élevée et une faible porosité nécessaire pour assurer la durabilité. (Puertas et al., 2018).

IV. CONCLUSION

L'étude a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le verre soluble est plus efficace que le NaOH.
- L'ajout du NaOH de (20%) à la solution commerciale (VS) augmente le pH de la solution ce qui contribue à l'amélioration de la résistance à la compression.
- L'augmentation de la teneur en laitier dans les mélanges est favorable, il est plus actif en présence de VS, ce qui entraîne une augmentation de la résistance.

REFERENCES

- Duxson, P. (2006). The Structure and thermal evaluation of métakaolin geopolymers. *PhD thesis University of Melbourne, Australia*, 355. .
- Shi, C., Krivenko, P. v., & Roy, D. M. (2006). Alkali-Activated Cements and Concretes. *Abingdon, UK, Taylor and Francis*. <https://doi.org/10.1201/9781482266900>
- Runzhang, Y., Shiski, O., & Qronying, G. (1988). Study on structure and latent hydraulic activity of slag it's activation mechanisms. *Silicates industrials*, N°4.
- Wang, S.D., Pu, X.C., Scrivener, K.L., & Pratt, P.L. (1995). Alkali-activated slag cement and concrete: a review of properties and problems. *Adv. Cem. Res.* 7, 93-102. <https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.27.93>
- Myers, R.J., Bernal, S.a., San Nicolas, R., & Provis, J.L. (2013). Generalized structural description of calcium-sodium aluminosilicate hydrate gels: the cross-linked substituted tobermorite model. *Langmuir* 29, 5294-5306. <https://doi.org/10.1021/la4000473>
- Puertas, F., González-Fontebo, B., González-Taboada, I. (2018). Alkali-activated slag concrete: Fresh and hardened behaviour. *Cem. Concr. Res.* 85, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.10.003>