

# Approche d'optimisation et influence des paramètres de durcissement sur la résistance à la compression de pâte Géopolymère à base de matériaux locaux Métakaolin/Laitier.

Mehsas Boumediene<sup>1</sup>, Zeghichi Leila<sup>2</sup>, Siline Mohammed<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Laboratoire de Matériaux et Mécanique des Structures LMMS, Université de Biskra; Algérie.

**RESUME** Le but de ce travail est d'étudier la production d'un géopolymère à base de Metakaolin MK et du laitier de haut fourneau L( MK/L). L'influence de la teneur en MK, la concentration de la solution alcaline, le rapport molaire  $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ , la température et le temps de durcissement a été étudiée en utilisant un plan factoriel complet à deux niveaux afin d'observer comment la variation de ces paramètres favorise les modifications des propriétés à l'état durci du géopolymère produit. Les interactions et la réponse prédite du modèle généré à l'aide de la conception factorielle dans le logiciel statistique JMP Trial 15 ont été analysés. Les paramètres tels que le rapport molaire MR (1,5-2), la densité de solution DS (1,3-1,4)  $\text{g}/\text{cm}^3$ , la température de durcissement du four OT (60-100)  $^\circ\text{C}$  et le temps de durcissement CT (6-48)h sont pris en compte pour chaque combinaison de MK/L: [(50%MK/50%L), (80%MK/20%L) et (100% MK)]. Les résultats ont montré que les réponses attendues à partir du modèle généré sont en accord avec les données expérimentales, les deux mélanges contenant les pourcentages les plus élevés du MK (80 et 100) % ont donné les meilleures valeurs :  $R^2 = 97\%$  pour «80% MK/20%L et  $R^2 = 94\%$  pour 100%MK ». Le facteur temps de durcissement CT a un rôle positif et très important sur la réponse CS, cependant le facteur rapport de molarité MR a une influence négative sur la CS pour tous les mélanges.

**Mots-clefs** Géopolymère, métakaolin, laitier, température de durcissement, temps de durcissement

## I. INTRODUCTION

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé après l'eau, constitué d'une matrice cimentaire à base du clinker dont la préparation demande une consommation importante d'énergie et génère d'immenses émissions de  $\text{CO}_2$  à effet de serre. Dans ce contexte plusieurs recherches évoluent vers le développement de nouveaux matériaux économiques et écologiques. Les géopolymères semblent être une alternative prometteuse aux matériaux traditionnels en

raison de leur bonne résistance mécanique [A.Hassnaoui et Al]. Ce type de matériau présente l'avantage de pouvoir être formulé à partir d'une large gamme de matériaux aluminosilicates tel que le Métakaolin MK, le laitier de haut fourneau les cendres volantes avec une solution alcaline.

Ce travail évalue et optimise l'impact des paramètres tels que le ratio molaire MR, la densité DS de solution et les conditions de durcissement telles que la température de durcissement OT et le temps de durcissement CT sur la résistance à la compression CS de différentes pâtes géopolymères à base de MK/L en utilisant l'approche de conception factorielle complète.

## II. Matériel et méthodes expérimentaux

### A. Production de pâte géopolymère

Deux types de matériaux aluminosilicates Algériens ont été utilisés dans cette étude : le Métakaolin (MK) obtenu après 2 h et 30 min du broyage du kaolin KT2, puis sa calcination à 800 ° C pendant 5 h dans l'étuve avec V=10C °/min. Le KT 2 provient du gisement TAMAZERT/JIJEL [B.Mehsas et Al], le laitier (L) provient de l'usine sidérurgique d'ELHADJAR / ANNABA. La composition chimique de chaque matériau et leurs propriétés physiques sont illustrées dans le tableau 1.

TABLEAU 1. Composition chimique (% en poids) du MK et L par fluorescence X (FRX).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PAF	SSB (cm <sup>2</sup> / g)	ρ (g / cm <sup>3</sup> )
<b>MK</b>	56,63	26,15	3,70	0,33	0,66	0,07	3,51	0,40	9,26	7041	2,70
<b>L</b>	35,34	7,52	6,75	38,50	3,28	0,43	0,59	0,2	7,39	4155	3,08

La solution alcaline utilisée est composée de silicate de sodium (SS) de type Sild 2.0 /45 produite par un laboratoire local SARL GHARBI, avec un rapport molaire SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O MR = 2,06. Sa composition en poids est : Na<sub>2</sub>O = 14,43%, SiO<sub>2</sub> = 29,80% et H<sub>2</sub>O = 55,77%, sa densité D = 1,53 g / cm<sup>3</sup>. De l'hydroxyde de sodium (NaOH), avec une pureté de 99%, est mélangé avec du SS pour obtenir les divers MR désirés. La pâte ensuite est versée dans des moules en acier de 25x25x25mm<sup>3</sup>, après durcissement la résistance à la compression (CS) des échantillons est mesurée.

### B. Conception factorielle des expériences

Un plan factoriel complet 2<sup>4</sup> (quatre paramètres et deux niveaux de contrôle) est choisi. Les analyses de conception factorielle complète ont été effectuées avec 16 essais en utilisant un logiciel statistique JMP Trial 15. Le principal avantage du plan factoriel est l'estimation précise des effets principaux de chaque paramètre.

TABLEAU 2. Paramètres et niveaux utilisés « 2<sup>4</sup> plans factoriels complets »

Paramètres	Notations	Type	Niveau de paramètre	
			Niveau bas (-1)	Haut niveau (+1)
<b>Température du four.</b>	OT C °	Numérique	60	100
<b>Temps de durcissement.</b>	CT heures	Numérique	6	48
<b>Ratio molaire</b>	MR	Numérique	1,5	2
<b>Densité de la solution alcaline.</b>	DS g/cm <sup>3</sup>	Numérique	1,3	1,4

III. Résultats et discussion

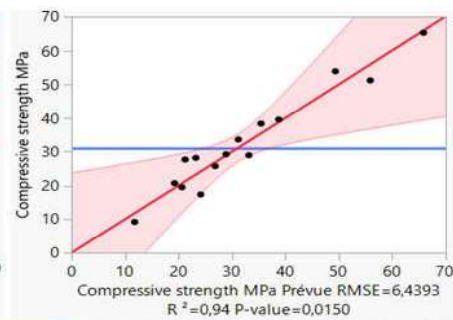
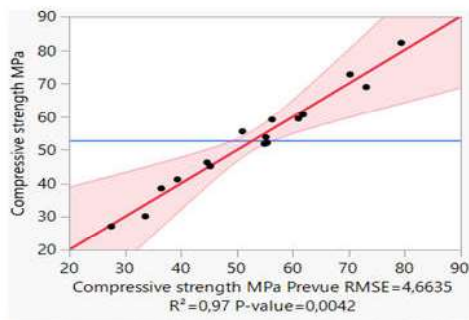


FIGURE 1. CS expérimental VS prédit CS de 80%MK/20%L      FIGURE 2 CS expérimental VS prédit CS de 100%MK/ 0%L

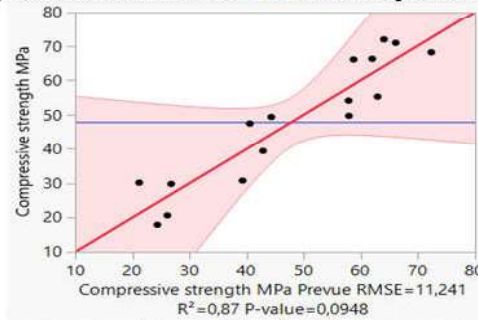


FIGURE 2. CS expérimental VS prédit CS de 50%MK / 50%L

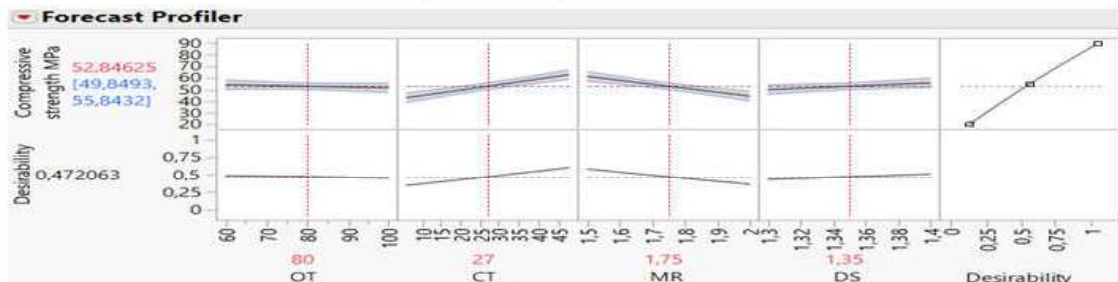


FIGURE 4. L'effet principal de la résistance à la compression de 80%MK/20%L

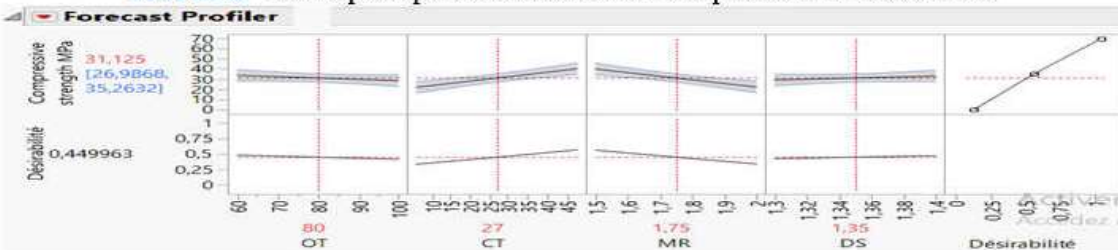


FIGURE 5. L'effet principal de la résistance à la compression de 100%MK

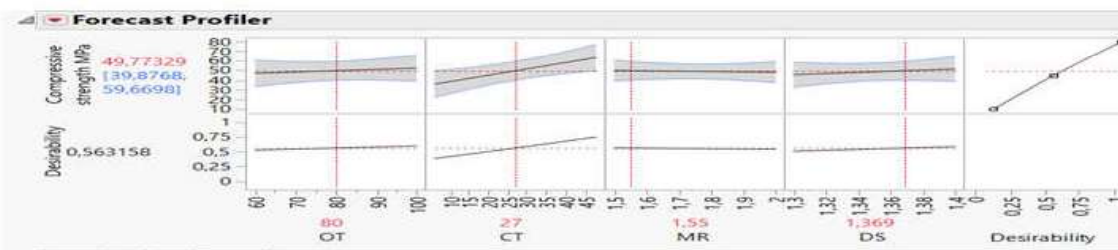


FIGURE 6. L'effet principal de la résistance à la compression de 50%MK/50%L

*A. Modèle factoriel complet :*

La résistance des pâtes géopolymères a été prédite avec une valeur élevée de  $R^2$  des deux mélanges du MK (80 et 100) % avec  $R^2 = 97\%$  pour le mélange 80% MK/20%L et  $R^2 = 94\%$  pour 100% MK/0%L. pour le mélange 50%MK/50%L :  $R^2 = 87\%$ , le tracé linéaire ajusté entre les valeurs expérimentales et prédites de la résistance des pâtes géopolymères est illustré aux figures 1, 2 et 3.

*B. Effet principal :*

Selon les figures 4,5 et 6 le facteur CT montre une pente d'augmentation de réponse positive pour tous les mélanges. Ainsi, un durcissement prolongé pendant 48 heures peut stimuler la réaction géopolymère (réaction de polymérisation) et forme une liaison plus forte entre les composés d'alumine (Al) et de silice (Si), l'augmentation du rapport molaire MR exerce une influence négative sur la résistance à la compression pour tous les mélanges, les autres facteurs ont peu d'influence sur la résistance.

**Conclusion**

Les plans factoriels complets  $2^4$  ont été utilisés avec succès pour générer un modèle de prédiction pour les pâtes géopolymères. Les réponses attendues du modèle généré ont montré un accord satisfaisant et rationnel avec les données expérimentales, les pourcentages les plus élevés de Géopolymère de MK (80 et 100) % ont donné les meilleures valeurs de  $R^2=97\%$  et  $R^2 = 94\%$ . Le temps de durcissement CT a un rôle positif sur la réponse CS, cependant le ratio molaire MR a une influence négative sur la résistance à la compression pour tous les mélanges.

**REFERENCES**

A. hasnaoui, E. ghorbal, G. wardeh. (2018). Optimization approach of granulated blast furnace slag and metakaolin based geopolymer mortars. construction building materials. 198 10-26 . <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.251>

B. Mehsas, M. Siline, & L. Zeghichi. (2021). Development of supplementary cementitious materials from Algerian kaolin : elaboration of metakaolin and assessment of pozzolanicity. Innov. Infrastruct. Solut. 6, 50 <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00444-2>