

---

# Emploi du métakaolin de la région sud ouest d'Algérie dans la formulation du béton économique

T. Rikioui<sup>1</sup>, A. Taфраoui<sup>1\*</sup>, S. Lebaili<sup>2</sup> et A. Mekkaoui<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bechar, FIMAS (Laboratoire Fiabilité des Matériaux et Structures), BP.417, 08000, BECHAR, Algérie

<sup>2</sup>Université USTHB, SGM (Laboratoire des sciences et Génie des Matériaux), BP.32, El Alia Bab Ezouar, 16000, ALGER, Algérie

\* e-mail : ahmedtafraoui@yahoo.fr

---

**RÉSUMÉ.** Les matériaux d'addition font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du béton, car l'utilisation des additions apporte une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton. D'autre part, leur utilisation a pour objectif de réduire la consommation de ciment, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement. Cet article étudie les avantages et les limitations de la substitution partielle de la fumée de silice par le Métakaolin à base de matériaux locaux. Les résultats des résistances mécaniques obtenus nous encourage à investir dans ce contexte et nous permet de conclure que le Métakaolin produit localement est un substituant efficace capable de réduire et remplacer l'utilisation de la fume de silice dans la fabrication du béton pour aboutir à un béton économique.

**ABSTRACT.** The materials of addition currently form part of the most recent developments in the production of the concrete, because the use of the additions brings a improvement of the mechanical properties and durability of the concrete. In addition, their use aims to reduce the cement consumption, while contributing in a way simple and economic to solve the problems involved in the environment. This article studies the advantages and the limitations of substitution partial of silica fume by Métakaolin containing local materials. The results of the mechanical resistances obtained encourages us to invest in this context and allows us to conclude that Métakaolin produces locally is an effective substituent able to reduce and to replace the use of silica fume in the manufacture of the concrete to lead to an economic concrete.

**MOTS-CLES :** Kaolin, Métakaolin, Fumée de silice, Formulation, Résistances mécaniques, Béton économique.

**KEYWORDS:** Kaolin, Métakaolin, Silica fume, Formulation, Mechanical resistances, economic concrete.

## 1. Introduction

Les bétons contenant du Métakaolin présentent des comportements similaires à ceux contenant de la fumée de silice, c'est-à-dire une amélioration de la résistance mécanique et une réduction significative de la perméabilité. Cette addition entraîne aussi une réduction du retrait du béton (Abdul Razak et al., 2005, Matte et al., 1999, Taфраoui et al., 2009).

Certains auteurs ont constaté qu'une addition de l'ordre de 15% de Métakaolin confère une capacité supérieure de résistance en milieux agressifs, tels ceux des eaux de mer et des solutions acides (Hong-Sam et al., 2007, Nabil et al., 2006, ).

L'utilisation d'additions actives dans les bétons comme substitut du ciment a des avantages divers dont les principaux se rapportent au fait que le ciment est le composant le plus coûteux du béton, que sa production exige une grande consommation d'énergie et que la production d'une tonne de ciment libère approximativement autant de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Perlo et al., 2007).

Cet article présente une étude dont le but principal est de viabiliser l'utilisation de Métakaolin produit à partir de kaolinites algériennes dans la production de béton substitué à 25% du poids de la fumée de silice considéré mécaniquement et économiquement efficace.

## 2. Matériaux et procédures expérimentales

### 2.1. Situation

Dans La ville de Tabelbala (**Figure 1**) est située à environ 350 km au sud du chef lieu la wilaya de Béchar (Algérie).

Le gisement de kaolin à Tabelbala appartient au Silurien des monts d'Ougarta (**Figure 1-A**), il est dit aussi le gisement de Makhoulouf, à raison de sa proximité du village Makhoulouf (**Figure 1-B**). Ce gisement se présente sous forme d'une carrière, prolongée localement par des galeries, il présente des recouvrements faibles (**Figure 1-C**). Les autochtones exploitent ce gisement uniquement dans l'amendement des terres agricoles, hautement dominées par la fraction sableuse et aussi dans la confection de l'étanchéité de leurs habitats (ORGM, 2000).

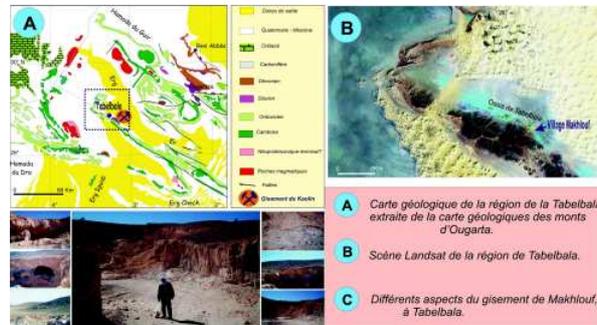


Figure 1. Situation et état de gisement du kaolin

## 2.2. Etat actuel

Le rapport de synthèse, sur les substances utiles dans la wilaya de Béchar, fait état de l'impossibilité d'utilisation de cette argile pour la céramique fine, mais plutôt dans le bâtiment, le sanitaire ...etc.

De l'analyse des différents rapports sur l'étude de ces deux indices, il en ressort que ces argiles font partie des matières céramiques. Ces argiles se distinguent par leurs teneurs élevées en quartz et oxydes de fer (**Tableau 1**), ainsi que, leur homogénéité (ORGM, 2000).

Afin d'appréhender complètement la réaction de deshydroxylation de la kaolinite, nous devons, dans un premier temps, travailler sur la caractérisation des matériaux crus: des argiles contenant de la kaolinite (Bich, 2005). Nous avons par conséquent, choisi de caractériser de façon exhaustive le kaolin de provenance Tabelbala noté KTab.

Les indices de Tabelbala se présentent sous forme de lentilles, distantes l'une de l'autre de 3 à 5 km.

La composition chimique moyenne de cet échantillon prélevé est regroupée dans le **Tableau 1**.

Compo- sant %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	PF	Cl
Kaolin	49,00	29,76	5,11	0,64	2,40	0,29	0,43	0,93	10,09	0,01

Tableau 1. Résultats d'analyse chimique du KTab

Les travaux menés en laboratoire (granulométrie, cuisson, séchage) confirment que Cette composition exclut la possibilité d'utilisation de la matière, pour la production de la céramique fine. La fraction argileuse est représentée par de l'illite.

Les argiles de Tabelbala, selon la classification de (GOST9169, 1985), sont semi acides, à haute teneur en oxydes hydromicac à granulométrie grossière-moyenne, à résistance mécanique modérée, non agglomérables, et non gonflables. L'analyse par diffraction des rayons X sur l'échantillon du kaolin Tabelbala (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) consiste à déterminer la nature des constituants minéraux (minéraux prédominants : Kaolinite, minéraux secondaires : Quartz et Muscovite, minéraux accessoires : Pyrophyllite) (Oliveira et al., 2005).

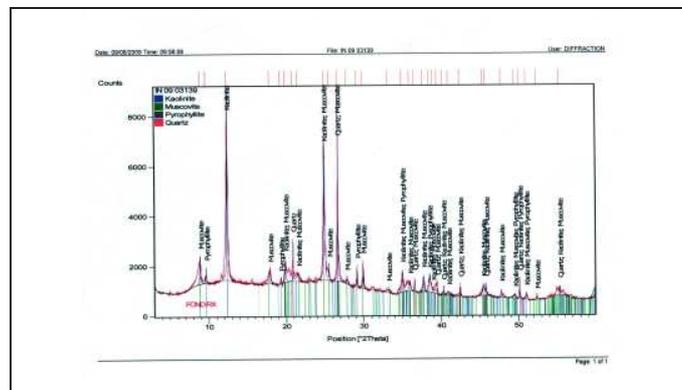


Figure 2. DRX KTab

### 2.3. Méthodes expérimentales

#### 2.3.1. Broyage du kaolin

Les matériaux crus sont soumis au broyage par les trois procédés (mâchoire, cylindre et disque) dont la granulométrie mesurée par sédimentation est présentée sur la **Figure 3**.

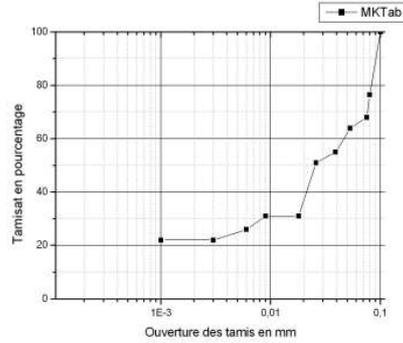


Figure 3. Courbe granulométrique du KTab

### 2.3.2. Traitement thermique du kaolin

Les métakaolins sont obtenus par calcination d'argile kaolinique (silicate d'alumine hydraté) à des températures comprises entre 600 et 900°C. La température de calcination dépend du degré de pureté en kaolin (autrement dénommé kaolinite) de l'argile kaolinique utilisée. La calcination entraîne la deshydroxylation et une destruction de la structure cristalline initiale de la kaolinite (kaolinite calcinée). La durée de traitement thermique utilisée est de cinq heures (Figure 3) (Badogiannis et al., 2009).

Durant cette cuisson, il y a formation de métakaolin (Figure 5) et dégagement de molécules d'eau sous forme gazeuse selon la réaction suivante :

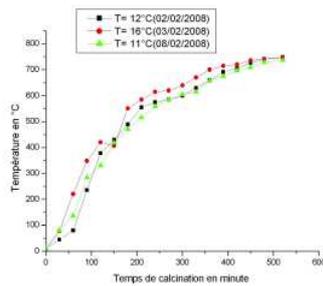


Figure 4. Traitement thermique du kaolin KTab

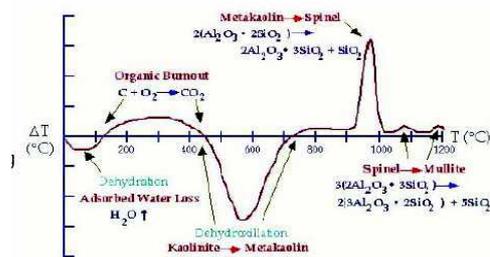


Figure 5. Transformation du kaolin en métakaolin

2.3.3. Caractéristiques physique, chimique et minéralogique du Métakaolin

La masse volumique ainsi que la surface spécifique sont présentées dans le **Tableau 2**.

Masse Volumique (g/cm <sup>3</sup> )	2,7
Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	16

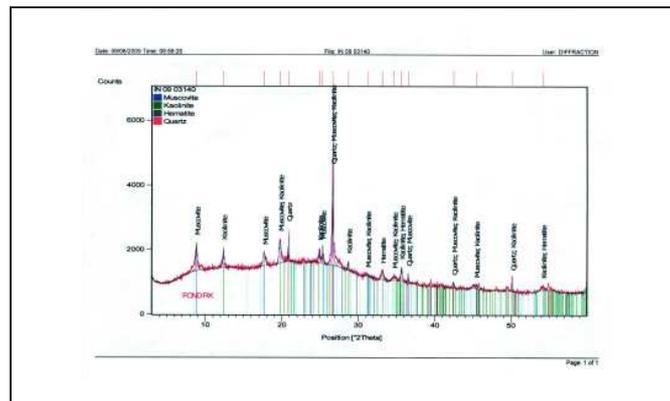
**Tableau 2.** Caractéristiques physique du Métakaolin (MKTab)

Les résultats d'analyse chimique sont présentés dans le **Tableau 3**.

Compo- sant %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	PF	Cl
Kaolin	49,49	35,74	7,01	0,49	2,07	0,19	0,38	0,94	1,20	0,01

**Tableau 3.** Analyse chimique du Métakaolin (MKTab)

Outre que l'analyse chimique, les résultats d'analyse par diffraction des rayons X sont présentés sur la **Figure 6**.



**Figure 6.** Résultats d'analyse par DRX du MKTab

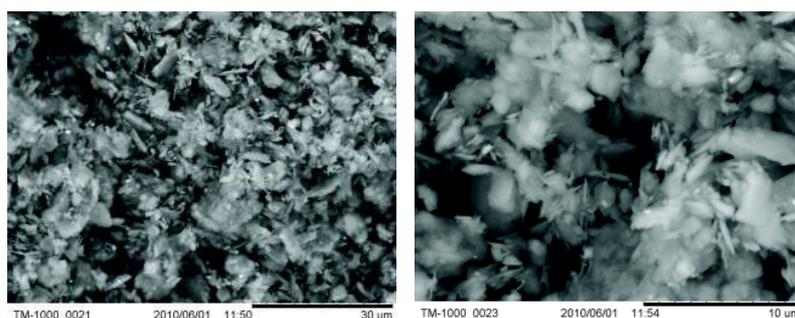
Le résultat minéralogique du MKTab est dans le **Tableau 4**

Echanti llon	Minéraux prédominants	Minéraux secondaires	Minéraux accessoires
MKTab	Kaolinite	Quartz, Muscovite	-

**Tableau 4.** Résultat minéralogique du MKTab

#### 2.3.4. Observation au microscope électronique à balayage (MEB)

Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont montré que le métakaolin est essentiellement constitué d'agglomérats de particules. Ces particules sont elles-mêmes formées d'un empilement de plaquettes hexagonales. Les dimensions des plaquettes varient du micron à une dizaine de microns (**Figure 7**).



**Figure 7.** Structure du Métakaolin sous le M.E.B

#### 2.3.5. Réactivité pouzzolanique du métakaolin

Dans le but de confirmer l'activité pouzzolanique de l'échantillon par la variation de l'évolution des résistances mécaniques à 7 et 28 jours, des éprouvettes contenant un mélange ciment Portland et échantillon, ont été coulées selon la norme (NF EN 196-1, 2006). Nous avons utilisé un taux de substitution de 25% en Métakaolin de la quantité d'un ciment Portland de classe CEMI 42,5 et on a choisi de travailler à rhéologie constante ( $E/C = 0,5$ ) (Khatib, 2008).

Pour déterminer l'indice d'activité de MKTab (**Tableau 6**) nous avons confectionné des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  avec les quantités représenté sur le **Tableau 5**.

Désignations	Ciment CEMI 42,5		Sable CEN EN 196-1		Métakaolin		Eau
	Qts(g)	Taux	Qts(g)	Taux	Qts(g)	Taux	Qts(g)
Mortier normalisé	450	1/3	1350	2/3	0	0	225
Mortier à 25% Métakaolin	337,5	1/12	1350	2/3	112,5	3/12	225

**Tableau 5.** Quantités de matériaux de fabrication de mortiers

Echantillon	Indice d'activité	
	à 7 jours	à 28 jours
MKTab	0,79	1,00

**Tableau 6.** Résultats de l'indice d'activité du MKTab

#### 2.4. Formulation et confection du mortier

Dans le but de valoriser le métakaolin MKTab dans la fabrication du mortier économique, une composition est formulée dans le **Tableau 7**.

Compositions	(Kg/m <sup>3</sup> )	(%)
Ciment (CPA CEM 42,5)	828	37,83
Sable de l'erg	911	41,62
Métakaolin (MKTab)	207	09,46
Super plastifiant	18,2	0,83
Eau	224,6	E/C = 0,27
Totaux	2188,8	

**Tableau 7.** Compositions pour 1 m<sup>3</sup> de mortier

### 3. Résultats expérimentaux

Le comportement mécanique des mortiers est étudié en flexion 3 points et en compression uniaxiale sur les éprouvettes 40×40×160 mm conformément à la norme (NF EN 196-1, 2006).

Trois éprouvettes sont testées en flexion et les six demi-échantillons obtenus sont testés en compression sur une presse pilotée en force.

Les essais mécaniques pour les mortiers sont à 28 jours après une cure humide à 20°C.

Les résultats sont présentés dans le **Tableau 8**.

Echantillon	Contrainte de flexion	Contrainte de compression
MKTab	17	109

**Tableau 8.** Résultats des essais mécaniques à 28 jours en MPa

Le remplacement poids pour poids de la fumée de silice par le métakaolin permet de réaliser des mortiers économiques de hautes performances mécaniques.

### 4. Conclusions

L'exploitation du kaolin et sa transformation en métakaolin permettent de remplacer la fumée de silice dans la formulation du mortier et cela du point de vue économique.

A partir de l'état de connaissances actuelles relatives aux effets bénéfiques du métakaolin sur les propriétés des mortiers, on peut conclure que l'exploitation de

XXIX<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

gisement du kaolin de Tabelbala dans sa transformation au métakaolin est plus bénéfique dans la fabrication du mortier.

L'envergure des gisements, leur importance, la proximité des localités de Tabelbala, le traitement thermique du Kaolin par l'énergie solaire peuvent justifier la réalisation d'un programme de travaux de terrain complémentaires, dans le but de déterminer les paramètres des corps en question est d'utiliser dans la fabrication du mortier économique.

Reste à voir la durabilité de cette formulation renfermant du métakaolin dans des travaux ultérieurs.

## 5. Bibliographie

- Abdul Razak H., Wong HS. « Strength estimation model for high-strength concrete incorporating metakaolin and silica fume ». *Cement and Concrete Research* 2005, Vol.35 n°4, p.688-695.
- Badogiannis E., Tsivilis S. « Exploitation of poor Greek kaolin: Durability of metakaolin ». *Concrete Cement & Concrete Composites* 2009, n°31, p.128-133.
- Bich C. *Contribution à l'étude de l'activation thermique du kaolin : évaluation de la structure cristallographique et activité pouzzolanique*. Thèse de doctorat. 2005.
- NF EN 196-1. *Méthodes d'essais des ciments Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques*. Avril 2006.
- GOST 9169. *Clay raw materials for ceramic industry classification*. Amendement 1, 1985.
- Hong-Sam K., Sang-Ho L., Han-Young M. « Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin ». *Construction and Building Materials* 2007, n°2, p. 11229-1237.
- Khatib J.M. « Metakaolin concrete at a low water to binder ratio ». *Construction and Building Materials* 2008, n°22, p. 1691-1700.
- Matte V., Moranville M. « Durability of reactive powder composites: influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes ». *Cement and Concrete Research* 1999, n°21, p.1-9.
- Nabil M., Al-Akhras. « Durability of metakaolin concrete to sulfate attack ». *Cement and Concrete Research* 2006, n°36, p. 1727-1734.
- Perlot C., Rougeau P. *Intérêt des métakaolins dans les bétons*. CERIB, Septembre 2007. Monographie Réf.128.E.
- Oliveira L.A.P., Jalali S., Fernandes J.M., Torres E. « L'emploi de métakaolin dans la production de béton écologiquement efficace ». *Matériaux et Constructions* 2005, n°38, p. 277.

ORGM. Livret des substances utiles non métalliques de l'Algérie. *Édition du service géologique de l'Algérie Boumerde*, 2000.

Siddique R., Klaus J. « Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review ». *Applied Clay Science* 2009, n°43, p. 392-400.

Tafraoui A., Escadeillas G., Lebaili S., Vidal T. « Metakaolin in the formulation of UHPC ». *Construction and Building Materials* 2009, n°23, p.669-674.