

# Effet de la chaux sur le comportement physico-mécanique des bétons de sable - Etude micro structurelle

Makhloufi Zoubir<sup>\*1</sup>, Bederina Madani<sup>#2</sup>, Seyed Messaouda<sup>#3</sup>

<sup>#</sup>Department of Civil Engineering, University of Laghouat, 37G Road of Ghardaia, Laghouat 03000, Algeria.

Email 1 - [z.makhloufi@lagh-univ.dz](mailto:z.makhloufi@lagh-univ.dz)

Email 2 - [m.bederina@lagh-univ.dz](mailto:m.bederina@lagh-univ.dz)

Email 3 - [missougc@gmail.com](mailto:missougc@gmail.com)

**Résumé** — Parmi les intérêts majeurs de cette étude est la valorisation des matériaux locaux. Les résultats ont montré que les bétons formulés avec les deux sables utilisés (alluvionnaire et dunaire) ont montré l'amélioration des performances mécaniques du béton de sable. La présence des fillers calcaires dans un sable est une nécessité. Le béton de sable et grâce à sa petite granularité est plus léger que les bétons traditionnels. La substitution totale au partielle du ciment dans le béton de sable peut être une solution pour améliorer certaines propriétés.

D'après les essais réalisés, on peut affirmer que l'utilisation de la chaux et le plâtre au béton de sable diminue les propriétés mécaniques par rapport aux bétons de sable à base de ciment. Cette diminution peut être utile dans certaines utilisations. La chaux et le plâtre comme liants hydrauliques donnent des résultats favorables dans certains cas. L'ajout de l'addition minérale permet d'améliorer les caractéristiques et les propriétés mécaniques des mélanges.

**Mots clés** — Béton de sable, fillers calcaires, liants, propriétés physiques, microstructure.

## INTRODUCTION

Pour obtenir un béton de plâtre, il faut tout d'abord disposer d'un bon mortier de plâtre, c'est-à-dire d'un mortier ayant un rapport E/P (Eau / Plâtre) réduit. Par ailleurs, la mise en oeuvre du béton de plâtre par vibration permet d'améliorer les propriétés du béton en épaississant sa pâte [1].

Pour l'obtention d'une meilleure ouvrabilité et une résistance satisfaisante, Sonebi Recommande l'utilisation d'un rapport E/P= 0,6 [1]. En Algérie et vu l'absence d'une méthode universelle pour la formulation des bétons de plâtre, on respecte généralement les recommandations des travaux du C.N.E.R.I.B. La composition de base du béton de plâtre est comme suit :

- 1 sac de plâtre : 40 kg ;
- Gravier 5/15 : 60 à 80 kg ;
- Chaux éteinte : 1 à 1.5 kg ;
- Eau : 16 à 24 L ;
- S/P : = 0.5.

Chinjemelo et Billong [2] ont étudié expérimentalement l'effet pouzzolanique des déchets de briques et tuiles cuites sur les propriétés mécaniques des mortiers de ciment. Ils ont conclu d'après les résultats trouvés que les fines de briques (Argile calcinée) présentent une action pouzzolanique plus élevée que celles d'autres matériaux avec une augmentation notable en résistances mécaniques.

Rodrigues et Henriques [3] ont étudié l'influence de certains matériaux hydrauliques sur les performances physico-mécaniques des mortiers. Les matériaux utilisés sont le sable de rivière, la chaux hydratée pure, la pouzzolane, la cendre volante, la poudre de céramique et de kaolin calcinée à 600°C et 800°C (Rappelons que la métakaolinite est une pouzzolane de synthèse couramment utilisée dans le domaine de génie civil qui est le résultat de la calcination de la kaolinite ;

Lanas et al. [4] ont étudié l’influence de la composition chimique de différents agrégats (limestone aggregates and silico calcareous aggregates) sur les propriétés mécaniques des mortiers de chaux. D’après les résultats enregistrés, ils remarquent que :

- la plus grande résistance à la compression est enregistrée avec les agrégats Ag3, Ag4 (pure limestone aggregates).

Bederina et al.2005 [5] ont étudié l’effet des fines calcaires sur la rhéologie et les propriétés mécaniques des bétons de sable. Deux objectifs principaux sont présents dans ce travail de recherche :

(1)l’étude de la possibilité d'exploiter les sables locaux disponibles en grandes quantités ;

(2) la recherche d’une solution pour remplacer des agrégats grossiers dans le béton par l’utilisation des déchets de calcaire (filler calcaire afin de corriger la distribution granulaire du sable utilisé). Trois types de sables ont été utilisés : un sable de dune, un sable de rivière, et un mélange de sable de dunes et de sable de rivière dans des proportions prédéterminées. Notons qu’avec l’incorporation de petite quantité de gravier lorsque le rapport gravillon (**G**) / sable (**S**) est inférieur à **0,7** (**G / S <0,7**) on obtiendra un béton de sable chargé (Fig. I.4) [6,4].

.

II. MATERIAUX ET METHODES

Le sable (SAD) utilisé est un mélange de deux sables ; un sable dunaire « SD » et un sable alluvionnaire « SA ». Le rapport SA''/SD'' = **1.76** a été déterminé dans une étude antérieure [7].

SA'' : Sable alluvionnaire dont le diamètre des grains est supérieur à 0.4 mm ;

SD'' : Sable de dune dont le diamètre des grains est inférieur ou égal à 0.4 mm.

Le sable SA possède une granulométrie étalée qui s’inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons et mortiers ordinaires [8].

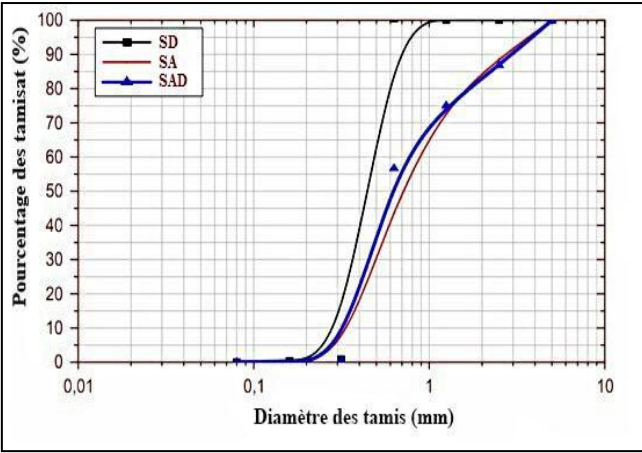


Fig. 1 Courbes granulométriques des sables utilisés.

Le Tableau 1 montre que le sable utilisé est très propre. Le module de finesse de sable SAD confirme l’existence de gros grains. Il est compris entre 2,20 et 2,80 [9]. Le pourcentage des vides est assez élevé, ce qui impose l’ajout des fillers pour combler les vides et éviter un surdosage en ciment [10].

TABLEAU 1  
 PROPRIETES PHYSIQUES DU SABLE (SAD)

Masse vol. app. (kg/m3)	Masse vol. abs. (kg/m3)	Compacité (%)	Equivalent de sable visuel	Equivalent de sable au piston	Absorption d’eau (%)
1511	2583	2.28	58	87	0.58

Le ciment utilisé est de type CEM I 42.5 N constitué de 98% de clinker et de 2% de fines de cru. Les principales caractéristiques physiques, mécaniques et la composition minéralogique du ciment utilisé sont données dans le Tableau 2.

TABLEAU II  
 PROPRIETES CHIMIQUE DU CIMENT (%)

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>	PF
20.66	4.77	2.88	63.31	1.17	2.32	1.06

TABLEAU III  
 PROPRIETES CHIMIQUES DU FILLER CALCAIRE (%)

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>	Na <sub>2</sub> O	Perte au feu
0.42	0.13	0.06	56.01	0.12	0.01	0.43	42.78

L'analyse minéralogique du plâtre, montre une forte teneur en CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O (environ 96%), ce qui nous a permis de le classer en « classe I » qui correspond à une teneur en CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O supérieure à 90%. Les résultats de l'analyse chimique sont résumés dans le tableau 4.

TABLEAU IV  
 PROPRIETES CHIMIQUES DU PLATRE

Constituants	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O 3	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CL
Pourcentage ( % )	0,7	0,10	0,08	32,1	0,53	44,9	0,09	0,00

Les propriétés physiques des ajouts minéraux (chaux pouzzolane et plâtre) sont résumées dans le Tableau 5.

TABLEAU V  
 PROPRIETES PHYSIQUES PLATRE, CHAUX ET POUZZOLANE.

Propriétés physique	Plâtre	Chaux	Pouzzolane
Surface spécifique Blaine cm <sup>2</sup> /g	1500-8000	650	388
Masse volumique apparente g/cm <sup>3</sup>	840-915 KG/M3	666	1005
Masse volumique absolue	1100-1300 KG/M3	2750	2850

La composition optimale du béton de sable étudié est inspirée de travaux antérieurs [7].

Après malaxage, le mélange a été introduit dans des moules de (4×4×16) cm<sup>3</sup>. Les éprouvettes sont démoulées après 24 h et les échantillons sont conservés jusqu'au jour de l'essai, dans les mêmes conditions climatiques en laboratoire dans des conditions climatiques proches des conditions du chantier, à savoir température, et humidité. La maniabilité du mortier frais a été déterminée à l'aide du maniabilimètre B, elle est effectué selon la norme NF P18-452.

Concernant la caractérisation du béton durci, pour chaque composition, six éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm<sup>3</sup> ont été soumises à la flexion (3 points) pour obtenir la résistance à la flexion. Puis les demi-éprouvettes résultant de cet essai ont été soumises à la compression selon des cubes 4x4x4 cm<sup>3</sup> selon les normes NF EN 12390-5. La structure des bétons étudiés a été effectuée par analyse d'images en utilisant un microscope optique où les grossissements peuvent aller jusqu' à 700x et par DRX

## RESULATS ET DISCUSSION

Dans ce cas de 50% de chaux, et avec la même procédure que le cas précédent, de petits morceaux ont été extraits des différents échantillons étudiés (SC01 (50% Ch+50% Pz), (SC02 (20%Ch+80% Pz), SC17 (50% Ch+50% P), SC6 (100% Ch), SC10 (20% P + 60% Ch+20% Pz) et SC12 (40% P + 60% Pz) ; ces derniers ont

été exposés aux rayons X. Dans ce cas les essais effectués à l'université de Batna ont permis d'obtenir les images illustrées par les figures 2,3 et 4 qui montrent que les principaux produits présents dans les bétons de sable étudiés sont :

- (1) Le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) ;
- (2) Le carbonate de calcium (calcite), ( $\text{CaCO}_3$ ) ;
- (3) Les silicates de calcium hydratés (C-S-H) ;
- (4) La portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) .

Tous les diagrammes présentés par les Figures 2, 3 et 4 montrent que le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) est présent dans tous les échantillons. C'est tout à fait évident, puisque le sable utilisé pour le développement des bétons de sable étudiés est principalement composé de silice. De plus, on peut aussi constater que le pic de quartz est plus élevé lorsque la pouzzolane naturelle est présente dans le composite.

Des pics de silicates de calcium hydratés (C-S-H), dus d'une part à l'existence des ions de  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{OH}^-$  et à la présence de quartz et d'autre part, à la réaction pouzzolanique.

Plusieurs méthodes ont été avancées pour expliquer les propriétés des pouzzolanes comme étant un matériau riche en silice et en alumine capable de :

1. réagir avec la chaux en présence d'eau ;
2. former par cette réaction des produits aux propriétés liantes [10,11].

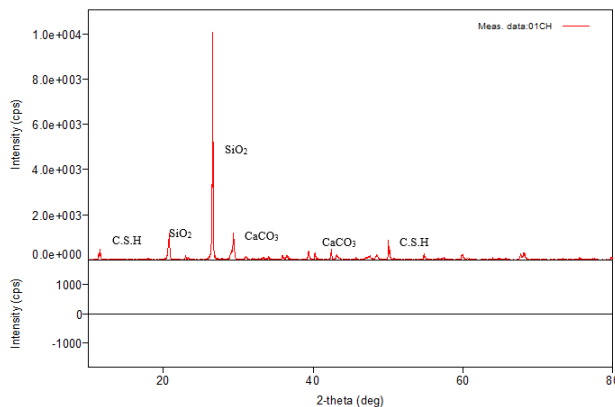


Fig. 2. Analyse DRX de SC1 (50% Ch+50% Pz)

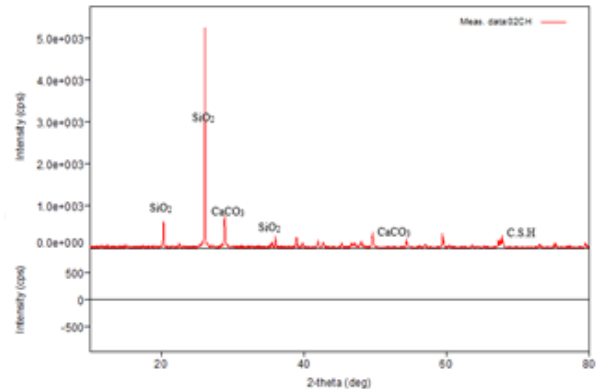


Fig. 3. Analyse DRX de SC2 (20% Ch+80% Pz)

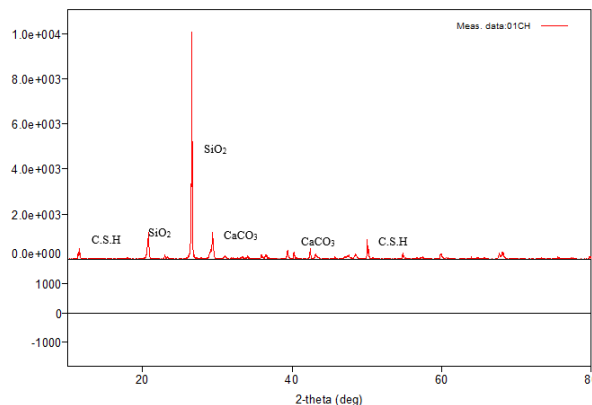


Fig. 4. Analyse DRX de SC6 (100% Ch)

La réaction pouzzolanique de la pouzzolane se caractérise à long terme par la consommation de la chaux hydratée dans les bétons et la formation C-S-H secondaire.

L'utilisation du filler calcaire avec la pouzzolane naturelle a diminué la résistance à la compression en fonction du taux de substitution et ça peut être expliqué par le fait que la résistance à la compression n'a pas augmenté de manière remarquable à long terme dans tous les bétons étudiés à l'âge de 90j [11] ;

Les réactions pouzzolaniques sont les suivantes :



Puisque les échantillons des bétons étudiés (SC1, SC2 et SC6) sont composés de chaux, de sable et de filler calcaire, on enregistre de grands pics de calcite, où l'on note l'intensité du pic majeur pour le béton SC6 ; il est clair que ce béton présente un taux plus élevé de calcite. La présence de calcite  $\text{CaCO}_3$ , est obtenue par dégagement de dioxyde de carbone de chaux.

On note également la présence des traces de portlandite  $\text{Ca(OH)}_2$  dans le béton SC6 (100% Ch), cependant elles n'existent pas dans les autres bétons ce qui peut être expliqué par la consommation de la portlandite par la pouzzolane au cours de la réaction pouzzolanique [12].

## V. CONCLUSIONS

Pour le cas du béton de sable à liant substitué par 50% Chaux.

A cause du pourcentage élevé de chaux hydratée, la résistance à la compression du béton de sable témoin à 100% chaux (SC06) est très faible par rapport au celle des autres types des bétons étudiés.

L'utilisation du filler calcaire avec la pouzzolane naturelle a diminué la résistance à la compression en fonction du taux de substitution.

Puisque les échantillons des bétons étudiés (SC1, SC2 et SC6) sont composés de chaux, de sable et de filler calcaire, de grands pics de calcite ont été enregistré, où l'on note l'intensité du pic majeur pour le béton SC6 ; il est clair que ce béton présente un taux plus élevé de calcite. On note également la présence des traces de portlandite  $\text{Ca(OH)}_2$  dans le béton SC6 (100% Ch), en effet, elles n'existent pas dans les autres bétons ce qui peut être expliqué par la consommation de la portlandite par la pouzzolane au cours de la réaction pouzzolanique. La chaux éteinte durcit en fixant le gaz carbonique de l'air pour redonner du carbonate de calcium.

## REFERENCES

- [1] Soltane M L. *Contrôle technique d'un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra*. C.N.E.R.I.B, MATLOC, N°91, PP101-104,1991.
- [2] Chinie Melo U, Billong N. *Activation pouzzolanique des déchets de briques et tuiles cuites*. African Journal of science and technology AJST, science and engineering, Vol.5, N°1, PP92-100, 2004.
- [3] Rodrigues P, Henrigues F. *The effect of hydraulic components on lime mortars*. XXX IAHS world congress on housing construction, Coimbra, Portugal.2002
- [4] Sablocrete, Projet national de recherche. *développement. Béton de sable*, Edition presses de l'école nationale des ponts et chaussées.1998.
- [5] Lanás J, Pérez Bernal J L, Bello M A, Alvarez Galindo J I. *Hydraulique Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars*. Cement and concrete research, Vol.34, N°12, PP2191-2201, 2004.
- [6] Bederina M, Khenfer M.M., Dheilly R.M, Quéneudec M. *Reuse of local sand effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes*. Cement and Concrete Research, N°35, PP1172-1179, 2005.
- [7] Bederina M, Marmoret L, Mezreb K, Khenfer M M, Bali A, Queneudec M. *Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modelling*. Construction and Building Materials, Vol.21, PP662-668,2016.
- [8] Melais F Z, Achoura D. *Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé de fibres de polypropylène*. .XXIXe Rencontres universitaires de génie civil. Tlemcen. (29- 31)(05).2011.
- [9] Benabed B, Azzouz L, Kadri E, Belaidi A S E. *Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes*. XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, France Savoie. (6-8).
- [10] Melais F Z, Achoura D. *Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé de fibres de polypropylène*. XXIXe Rencontres universitaires de génie civil. Tlemcen. (29- 31)(05).2011.
- [11] Bederina M. *Caractérisation mécanique et microstructures des bétons de sables locaux : Effet de fillers et de la nature des sables sur le comportement du matériau*. mémoire de magister, université de laghouat .2000. (06).2012.
- [12] Lanás J, Pérez Bernal J L, Bello M A, Alvarez Galindo J I. « Hydraulique Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars ». Cement and concrete research, Vol.34, N°12, PP2191-2201, 2004.