

INFLUENCE CHIMIQUE ET PHYSIQUE DE LA POZZOLANE SUR LA RESISTANCE EN COMPRESSION DES MORTIERS

Par

Hamid KHELAFI

Docteur en Génie Civil, Enseignant à l'Institut de Génie Civil de l'USTO (Oran)

Djamel KERAL

PhD en Génie Civil, Enseignant à l'Institut de Génie Civil de l'USTO (Oran)

Chafik BENIREMOUR

Ingénieur d'Etat en Génie Civil

Résumé

Les mélanges de pouzzolane, de chaux et d'eau ont les propriétés de durcir et constituent un liant dont on sait qu'il fut utilisé dès l'époque Romaine.

Dans cet article, nous avons cherché à savoir si la substitution pondérale d'une certaine quantité de ciment Portland par la pouzzolane permettrait d'obtenir des ciments et des mortiers ayant des propriétés comparables ou plus performantes que celles des ciments Portland et des mortiers de base.

D'après les résultats de nos essais expérimentaux, il ressort que :

- l'effet chimique de la pouzzolane, par fixation de la chaux Ca(OH)_2 libérée par le ciment et formation d'un silicate de calcium hydraté CSH supplémentaire, contribue à l'augmentation de la résistance du mortier à la compression,
- l'effet physique de la pouzzolane, par remplissage des micropores, contribue lui aussi à l'augmentation de la résistance du mortier à la compression,
- il est possible d'introduire, sur chantier, jusqu'à 20% de pouzzolane pour l'élaboration de bétons et mortiers de bonnes résistances à la compression pouvant dépasser 50 MPa à 28 jours.

Mots clés : pouzzolane naturelle - activité pouzzolanique - surface spécifique - compacité - résistance à la compression - mortier.

1 INTRODUCTION

La production des ciments contenant des ajouts pouzzolaniques tend à se développer dans notre pays, ce qui répond au souci de valoriser les ressources naturelles abondantes et économiques.

La plupart des fabricants cherchent à obtenir des ciments exigeant pour leur confection un apport de plus en plus faible d'énergie calorifique et mécanique et incorporent à cet effet toute une série de produits nouveaux naturels ou artificiels à caractère hydraulique ou pouzzolanique telles que les fumées de silices et les cendres volantes [1] [2] [3]. Cette opération permet, d'une part, d'augmenter la production du ciment et, d'autre part, d'élaborer des mortiers et bétons durables et résistants en milieu agressif [4].

Actuellement, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à l'utilisation des ajouts qui doivent être suffisamment actifs afin d'obtenir des bétons moins coûteux ou des bétons de hautes performances BHP [2]. Certains chantiers en France, au Canada et aux USA utilisent ces ajouts, dans le béton, soit par addition soit par substitution :

Par addition : En quantités faibles (10% maximum), l'ajout permet d'augmenter la compacité d'un béton fortement dosé en ciment pour obtenir des BHP.

Par substitution : En quantités assez importantes (jusqu'à 40%), l'ajout permet d'obtenir des bétons de résistances comparables à celles d'un béton ordinaire.

Nous présentons dans la première partie de cet article les influences chimique et physique d'une pouzzolane naturelle active sur les résistances des mortiers à la compression en fonction du temps. L'ajout est mélangé avec le clinker dans la fabrication du ciment.

La deuxième partie est consacrée à l'étude des résistances des mortiers à la compression par incorporation de la pouzzolane dans le mortier (en même temps que le sable, le ciment et l'eau).

2 IDENTIFICATION DES MATERIAUX, METHODE EXPERIMENTALE

Nous avons effectué des essais de compression sur des éprouvettes de mortiers de dimensions 4x4x16 cm, à raison de six échantillons par essai. Le mortier utilisé a un rapport ciment/sable = 1/3 et un rapport E/C = 0.5. Les éprouvettes de mortiers ont été conservées dans l'eau à une température $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Nous avons également, en collaboration avec le laboratoire de la cimenterie de Beni-Saf, procédé aux mélange, dosage et broyage des constituants du ciment (clinker, pouzzolane, gypse).

La pouzzolane naturelle est d'origine volcanique, extraite du gisement de Bouhamidi situé à 2.5 Km de Beni-Saf. Elle possède une masse volumique apparente de $1\,200\text{ Kg/m}^3$ et contient environ 45% de silice SiO_2 [5].

Le clinker fabriqué en usine contient environ 54% de C_3S , 21% de C_2S , 10% de C_3A et 10% de C_4AF .

Le sable utilisé est de nature calcaire, la grosseur maximale de son grain est de 2.5 mm.

Nous avons fait varier, d'une part, le pourcentage de la pouzzolane dans le ciment et, d'autre part, sa surface spécifique. Nous avons également comparé les résultats des mortiers obtenus avec ceux du mortier témoin pour que nos conclusions soient justifiées et afin de mettre en évidence les rôles physique et chimique de l'ajout.

3 RESULTATS ET COMMENTAIRES

1ère PARTIE

INCORPORATION DE LA POZZOLANE DANS LE CIMENT

a) Effet chimique de l'ajout, variation de sa quantité

Afin de mettre en évidence l'effet chimique de la pouzzolane, nous avons maintenu constant sa surface spécifique égale à $3\,670\text{ cm}^2/\text{g}$ (de même ordre de grandeur que celle du clinker), puis, nous avons fait varier son dosage dans le ciment ; 10%, 20%, 30% et

40%. Les résultats obtenus sont présentés sur les courbes de la figure 1 donnant les variations des résistances de mortiers à la compression en fonction de la quantité de l'ajout à 2 jours, 7 jours, 28 jours et 45 jours.

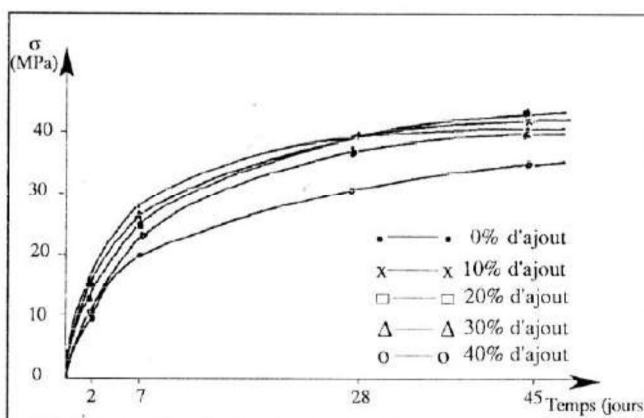
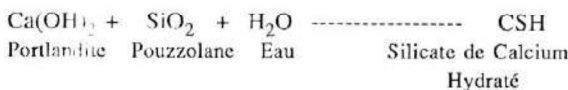


Figure 1 : Résistance à la compression des mortiers en fonction du % de pouzzolane.

A l'exception du dosage de 40%, les autres dosages de la pouzzolane présentent des mortiers de résistances comparables et même supérieures (cas de 10% et 20%) à celles du mortier témoin. Ceci peut être attribué à l'activité pouzzolanique qui consiste à fixer la portlandite Ca(OH)_2 , libérée par l'hydratation du ciment.

Cette réaction pouzzolanique donne naissance à un autre silicate de calcium hydraté supplémentaire CSH de deuxième génération. Le schéma simplifié de la réaction chimique est comme suit :



Il y a donc lieu de noter que jusqu'à 30% de pouzzolane on assiste à la formation d'une quantité d'hydrates (2ème génération) équivalente à celle du ciment Portland remplacé. Aussi, il semble que la chute de résistance de mortier contenant 40% d'ajout est due à la quantité insuffisante de chaux libérée par le ciment et par conséquent à des réactions chimiques incomplètes.

b) Effet physique de l'ajout, variation de sa finesse

La dimension moyenne des pores qui existent dans le mortier est de l'ordre de quelques dizaines de microns [6]. L'introduction d'un ajout minéral finement broyé dans le mortier peut conduire à la diminution de sa porosité.

Afin de montrer l'importance de l'effet physique (remplissage du vide) de la pouzzolane sur les propriétés mécaniques du mortier, nous avons augmenté la surface spécifique de l'ajout de $3\,670\text{ cm}^2$ jusqu'à $5\,900\text{ cm}^2$.

Nous avons maintenu constant le dosage de la pouzzolane égal à 30%. Ce dosage est jugé optimal vis-à-vis du rapport coût/résistance.

Les courbes de la figure 2 présentent les évolutions de la résistance du mortier à la compression en fonction de la surface spécifique de la pouzzolane à 2 jours, 7 jours, 28 jours et 45 jours.

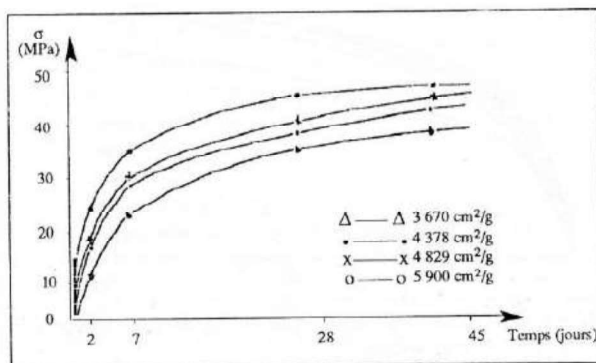


Figure 2 : Résistance à la compression des mortiers en fonction de la finesse de la pouzzolane.

Les résistances en compression du mortier augmentent proportionnellement avec la finesse de l'ajout et peuvent atteindre des valeurs d'environ 1.4 fois celles du mortier de base. Nous pouvons conclure que le broyage fin de l'ajout et par conséquent son effet physique, prend une part importante dans la croissance des résistances en compression du mortier. Cependant, on risque d'obtenir un mortier très coûteux si on effectue un broyage extrêmement fin.

2ème PARTIE

INCORPORATION DE LA POZZOLANE DANS LE MORTIER

c) Etude des résistances à la compression du mortier, intérêt économique

Nous avons essayé de montrer dans cette partie qu'on peut non seulement incorporer de la pouzzolane dans la fabrication des ciments composés mais aussi dans la confection de mortiers et bétons (sur chantier) moins coûteux et possédant de bonnes qualités mécaniques. Pour cela, nous avons ajouté des quantités variables de pouzzolane de 5%, 10%, 15% et 20% aux autres constituants ; ciment composé de Beni-Saf, sable et eau. Nous tenons à rappeler que le ciment de Beni-Saf contient déjà 16% de pouzzolane introduite lors de sa fabrication.

Les résultats sont présentés sur les courbes de la figure 3. Il est intéressant de noter que, quelque soit le mortier obtenu, les résistances à la compression à 28 jours dépassent largement 40 MPa.

Nous pouvons aussi conclure qu'il est possible d'ajouter sur chantier jusqu'à :

- 30% de pouzzolane en présence d'un ciment Portland.
- 20% de pouzzolane en présence d'un ciment composé.

4 CONCLUSION

Actuellement, le coût de la pouzzolane naturelle est beaucoup moins cher que celui du ciment Portland. L'intérêt de l'utilisation de cet ajout minéral ne sera évidemment avantageux que si le liant ou le mortier obtenus présentent de bonnes performances physico-chimique et mécanique d'une part et un coût raisonnable d'autre part.

Les principales conclusions à retenir de notre étude sont :

Δ Un mortier confectionné à partir d'un ciment composé contenant jusqu'à 30% de pouzzolane peut atteindre des résistances à la compression comparables à celles d'un témoin sans pouzzolane.

Δ L'activité pouzzolanique et l'augmentation de la surface spécifique de la pouzzolane sont les principaux responsables de l'accroissement des résistances à la compression des mortiers.

Δ Il est possible d'obtenir des mortiers économiques ayant de bonnes résistances mécaniques en ajoutant 20% de pouzzolane en présence d'un ciment composé et 30% en présence d'un ciment Portland.

Nous pensons que la continuité de ces travaux de recherche dans notre pays et l'exploitation des matériaux naturels locaux à caractère hydraulique ou pouzzolanique méritent une attention particulière.

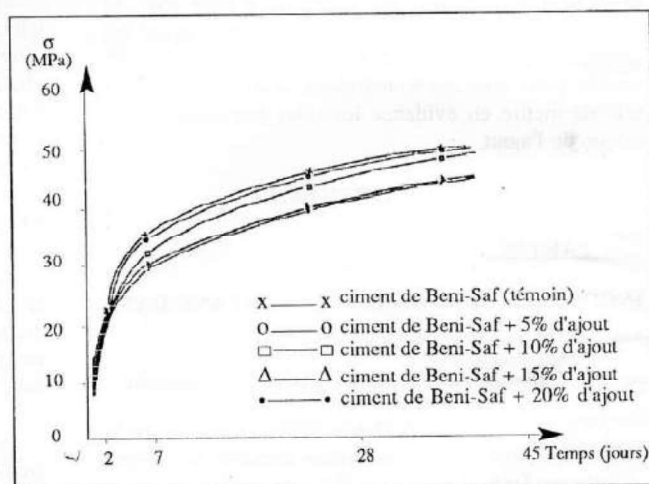


Figure 3 : Résistance à la compression des mortiers en fonction de la quantité de l'ajout.

Remerciements

Les auteurs remercient l'unité FERPHOS et la cimenterie de Beni-Saf pour l'aide précieuse que ces deux entreprises nous ont apportée pour la fourniture des matériaux utilisés et pour la réalisation des essais décrits dans le présent article ①

BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. Hanna : "Contribution à l'étude de la structuration des mortiers de ciment Portland contenant des particules ultra-fines". Doctorat de l'INSA, Toulouse, 1987.
- [2] H. Khelafi : "Contribution à l'étude de l'association armature-béton de hautes performances". Thèse de Doctorat de l'INSA de Toulouse, Juillet 1988.
- [3] H. Khelafi : "Les bétons de hautes performances bétons aux fumées de silice". Algérie EQUIPEMENT N°11, Janvier 1994.
- [4] P.K Mehta : "Pouzzolanes naturelles, matériaux complémentaires en cimentation pour le béton" Centre Canadien de la technologie, V.M. Malhorta Canmet, 1987.
- [5] H. Khelafi et D. Kerdal : "Etude expérimentale sur le comportement mécanique des mortier contenant des fillers pouzzolaniques". Séminaire International sur la "qualité du béton en climat chaud", Ghardaïa 22-24 mars 1994.
- [6] Divers Auteurs sous la direction de Y. Malier : "Le béton de hautes performances, du matériau à l'ouvrage". Presses de l'Ecole Nationale des Pont et Chaussées de Paris, 1990.



DANS LE PROCHAIN NUMERO

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA STABILISATION DES SOLS GONFLANTS PAR AJOUT DE SABLE

Par :

Zohra DERRICHE

Farid KAOUA

Nadir LARADI