



**HAL**  
open science

## **Pouzzolanicité de la cendre volcanique de Béni Saf**

M.S. Mansour, M.T. Abadlia, Raoul Jauberthie, Laurent Molez, Ibrahim  
Messaoudene, Damien Rangeard

► **To cite this version:**

M.S. Mansour, M.T. Abadlia, Raoul Jauberthie, Laurent Molez, Ibrahim Messaoudene, et al..  
Pouzzolanicité de la cendre volcanique de Béni Saf. Congrès International sur les Matériaux de  
l'Environnement, Oct 2010, Sidi Fredj, Algérie. 8 p. hal-01005638

**HAL Id: hal-01005638**

**<https://hal.science/hal-01005638>**

Submitted on 13 Jun 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## POZZOLANICITE DE LA CENDRE VOLCANIQUE DE BENI SAF

M. S. MANSOUR<sup>1</sup>, M. T. ABADLIA<sup>1</sup>, R. JAUBERTHIE<sup>2</sup>, L. MOLEZ<sup>2</sup>,  
I. MESSAOUDENE<sup>2,3</sup>, D. RANGEARD<sup>2</sup>

- 1 Laboratoire des Matériaux Minéraux et Composites, LMMC  
Université M'Hamed Bouguerra Boumerdes.  
Avenue de l'indépendance, 35000 Boumerdes, Algérie*
- 2 Laboratoire Génie Civil Génie Mécanique, EA 3913  
Institut National des Sciences Appliquées – Université Européenne de Bretagne  
20 Avenue des Buttes de Coësmes, 35043 RENNES cedex, France.*
- 3 Laboratoire Géo matériaux  
Université Mohamed BOUDIAF  
28000 M'SILA, Algérie*

### **ABSTRACT: POZZOLANICITY OF BENI SAF FLY ASH**

In order to evaluate the influence of a partial substitution of cement by Beni Saf volcanic ash, preliminary tests such as electric conductivity and pH-metric titration were conducted on suspensions. These tests allow a first quantification of the pozzolanicity. To confirm these first results, tests on mortars with partial substitution of cement by this ash were carried out. The physico-chemical properties of the cement and pozzolan pastes were studied: measurement of the initial and final setting time, paste rheology, but also shrinkage of mortars with and without pozzolana.

The results show that the addition of pozzolana decreases the pH and the conductivity of cement suspension. The hydrates formation is slowed down and then the initial set time is extended. The consequence is a better maniability of concrete and mortar with volcanic ash. On the other hand, mortars with pozzolana exhibit a larger shrinkage than that the reference mortar. Mechanical strengths are lower at short times but long terms strengths are very similar to those of the mortars without ash. This study confirms that the use of pozzolanic additions, as Beni Saf fly ash, is possible for uses compatible with an important shrinkage.

Finally, it is to be noted that simple tests as pH titration or electric conductivity quickly give information about possible pozzolanic effect of fillers.

### **RESUME:**

Afin d'évaluer l'influence d'une substitution partielle de ciment par de la cendre volcanique de Beni-Saf, des tests préliminaires rapides tels que la mesure de la conductivité électrique et du pH sur des suspensions, permettent une première quantification de la pouzzolanité. Pour confirmer ces premiers résultats, des tests sur des mortiers avec substitution partielle du ciment par cette cendre ont été réalisés. L'influence sur les propriétés physico- chimiques des pâtes cimentaires est étudiée : mesure du début et de fin de prise, rhéologie de la pâte cimentaire, mais aussi le retrait des mortiers avec ou sans la pouzzolane.

Les résultats montrent que la pouzzolane diminue le pH et la conductivité de la suspension du ciment. Elle ralentit la formation des hydrates et par là même, le début de la prise de la pâte cimentaire; ce qui favorise l'écoulement et la maniabilité du mortier et du béton. Coté négatif, la pouzzolane engendre un retrait plus grand que celui du mortier de référence. Les résistances mécaniques sont plus faibles aux courtes échéances mais après un mois de conservation, elles atteignent des niveaux similaires à ceux des mortiers sans cendre. Les résultats de cette étude confirment donc que l'utilisation de cette addition pouzzolanique est possible pour des utilisations compatibles avec un retrait non négligeable.

Enfin, on peut noter que les essais par pH-métrie et mesures de conductivité des suspensions renseignent très rapidement sur les possibilités d'effets pouzzolaniques des fillers ajoutés au ciment.

## INTRODUCTION

La protection de l'environnement est une préoccupation majeure qui se traduit, dans le milieu du génie civil, par la recherche de nouveaux procédés de construction ou de nouveaux produits à faibles impacts environnementaux.

L'un des produits écologique qui peut être utilisé dans le béton est la pouzzolane. La pouzzolane volcanique est un matériau naturel qui existe en quantité considérable au nord ouest Algérien (Région de Béni-Saf). Si ce produit qui ne nécessite aucune énergie coûteuse si ce n'est celle minimale du broyage, pouvait remplacer une partie non négligeable du ciment, alors une économie substantielle pourrait être réalisée surtout pour un pays importateur de ciment comme l'Algérie. Cette dernière visait une production de 500 000t pour 2010.

L'objectif de cette étude est d'évaluer le rôle de la pouzzolane sur les propriétés physico-chimiques des suspensions de ciments, les propriétés mécaniques et le retrait. Pour cela, une étude comparative a été menée entre un ciment de référence (sans pouzzolane) et un ciment contenant un taux de remplacement de 10 % de pouzzolane substituée au ciment. Des essais rapides permettent aussi de tester la pouzzolanité de ce filler. Le suivi de la conductivité électrique et du pH d'une suspension de ciment et de cendre volcanique dans le temps est mis au point.

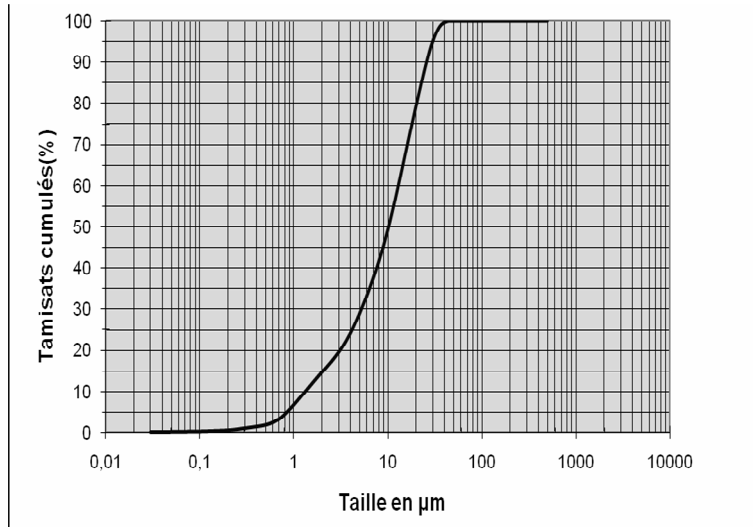
Dans ce travail, une étude expérimentale comparative a été menée entre un ciment de référence (sans addition) et un ciment contenant 10 % de cendre. Les caractéristiques : conductivité, pH, temps de prise, retrait et résistances mécaniques sont analysées.

## ETUDE EXPERIMENTALE

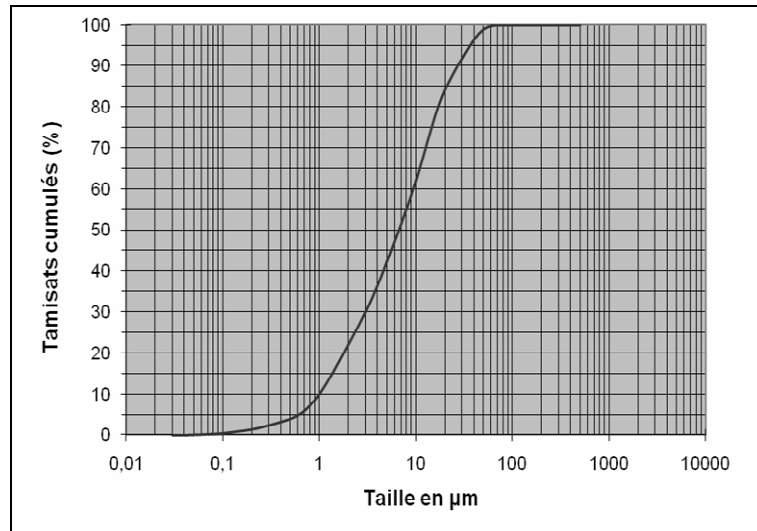
### Matériaux

Le sable utilisé est un sable siliceux normalisé (CEN, EN 196-1) de granulométrie 0/2mm. Le ciment est un CEM I 52,5 CP2 conforme à la norme européenne EN 197-1, de surface spécifique 420 m<sup>2</sup>/kg. La pouzzolane est un matériau naturel d'origine volcanique extrait du gisement de Bou Hamidi situé à 2.5 km de Béni- Saf (Nord- Ouest algérien) [1]. Un super plastifiant haut réducteur d'eau à base de polycarboxylate modifié a été employé, directement incorporé sous forme de poudre dans l'eau de gâchage. Les courbes granulométriques de la pouzzolane et du ciment (granulométrie laser CILAS Expert Sizer 1180) sont représentées sur la figure 1 et la figure 2 respectivement. La morphologie de la pouzzolane, observée au microscope électronique à balayage à effet de champ SEM (JEOL-JSM-6301F), est illustrée sur les figures 3 et 4. Les particules sont de forme très irrégulières et anguleuses. L'analyse par diffraction X est réalisée à l'aide d'un diffractomètre Philips PW 3710 : montage en géométrie Bragg-Brentano, l'anticathode est en Cu avec un filtre Ni. Les conditions opératoires sont : pour la tension 30 kV et pour le courant 20 mA. L'enregistrement est de type pas à pas entre 2 et 60° (2θ) avec un pas de 2θ=0.02°. Le diagramme est reporté figure 5. La composition minéralogique est donc : cordiérite en grande quantité, analcime en moyenne quantité et très peu de cristobalite et d'hématite. L'illite, minéral de la famille des argiles est nettement présente. Elle peut poser quelques problèmes au niveau de l'adhérence entre pâte de ciment et granulat. Les tableaux 1 et 2 regroupent les principales propriétés du ciment et de la cendre de Béni-Saf.

La cordiérite  $Al_3Mg_2AlSi_5O_{18}$  est un minéral souvent présent dans des roches de métamorphisme de contact, sa composition chimique laisse présager une réaction possible avec la portlandite libérée lors de l'hydratation du ciment. La cristobalite est de la silice cristallisée à haute température (volcan), elle est trempée par refroidissement rapide et se trouve par là même dans un état métastable donc réactive. L'analcime, minéral également lié au volcanisme  $NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$ , voisin des zéolites, doit présenter des propriétés réactives avec la chaux.



**Figure 1 : Distribution granulométrique du ciment CEM I.**



**Figure 2 : Distribution granulométrique de la cendre volcanique.**

**Tableau 1 : Distribution granulométrique de la cendre volcanique et du ciment (%).**

Matériaux	CEMI	Cendre
Tamias 10μm	13.32	10.15
Tamias 50μm	49.14	62.24
Tamias 90μm	100	100

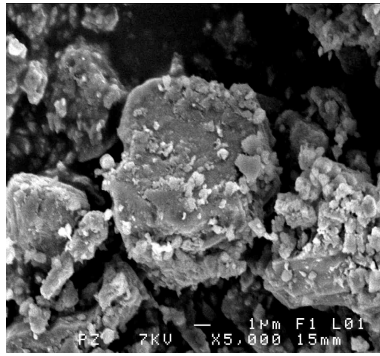


Figure 3 : Cendre (x 5 000)

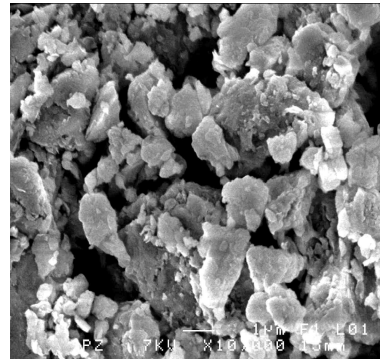


Figure 4 : Cendre (x 10 000)

Tableau 2 : Propriétés physiques des matériaux.

Materiaux	Ciment	Cendre
Surface spécifique (cm <sup>2</sup> /g)	4200	8240
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	3.12	2.79
Activité minérale mg Ca(OH) <sub>2</sub> /g	-	149.8

Tableau 3 : Composition chimique des matériaux (% masse).

	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	PF
CEM I	19,85	4,80	2,75	63,60	1,45	3,45	0,90	0,15	2,20
Cendre	44,78	16,53	9,01	10,97	4,59	0,17	1,15	3,42	6,55

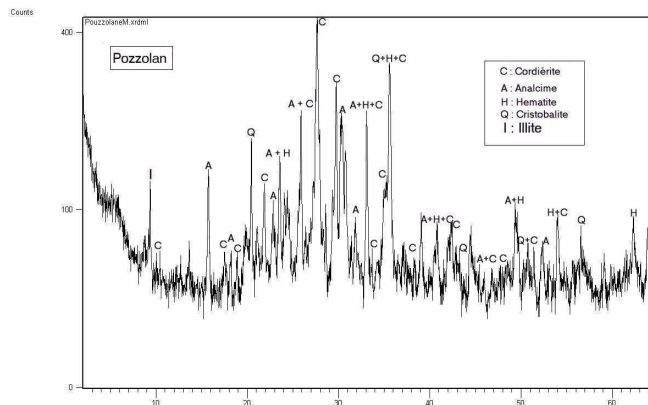
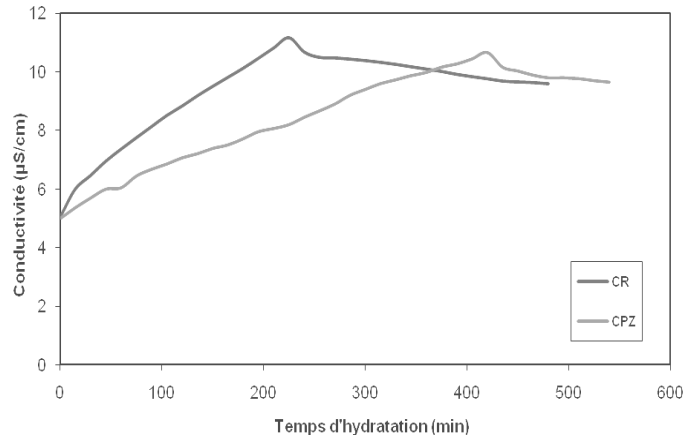


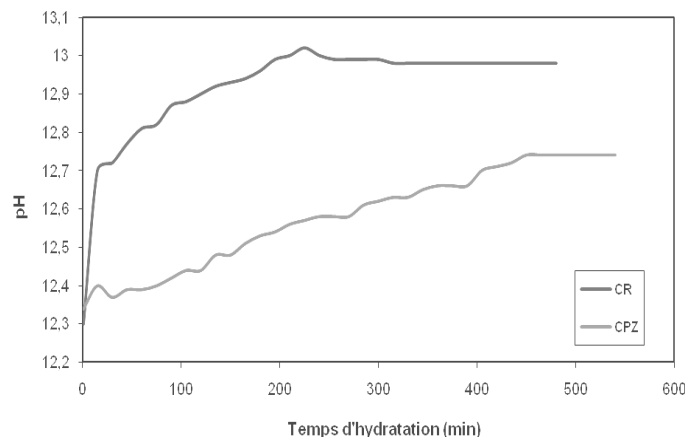
Figure 5 : Diagramme de diffraction X de la cendre volcanique (Cu  $\alpha$  filtre Ni).

## Effet de la pouzzolane sur la conductivité et le pH des suspensions

Dans un récipient en verre, 20g de ciment seul ou 20g d'un mélange de ciment et de cendre (10%) est mis en suspension dans 100cm<sup>3</sup> d'eau déminéralisée. Un conductimètre CDM210 et un pH mètre pHM210 sont utilisés pour mesurer les évolutions de la conductivité électrique et du pH. L'évolution de la conductivité en fonction du temps est présentée figure 6 et l'évolution du pH figure 7.



**Figure 6 : Conductivité électrique des suspensions de ciment (CR) et de ciment +cendre (CPZ).**



**Figure 7 : pH des suspensions de ciment (CR) et de ciment +cendre (CPZ).**

La conductivité croît dans un premier temps, passe par un maximum puis décroît. Le phénomène de sursaturation de la solution (phénomène Le Chatelier) qui précède la cristallisation des CSH est plus précoce avec le ciment seul qu'avec le mélange ciment cendre volcanique. Le pH croît ici aussi plus rapidement avec le ciment seul, ceci est conforme avec les résultats observés sur les courbes de résistivité. Mais la stabilisation du pH est à 13 pour le ciment seul et à 12,6 pour le mélange. La stabilisation a lieu à environ 4h après la mise en suspension pour le ciment seul et 8h avec l'ajout.

L'augmentation de la conductivité est due à la croissance de la concentration ionique et de la mobilité des ions dissous dans l'eau ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) [2]. La diminution de la conductivité est due à la formation et l'accumulation des hydrates de ciment (ettringite, portlandite, C-S-H) résultant d'une consommation marquée du nombre d'ions [3, 4]. L'effet pouzzolanique explique bien ces évolutions de pH et de conductivité : en s'hydratant, le ciment libère des ions de portlandite ( $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{OH}^-$ ) puis, progressivement, la cendre volcanique va capter l'ion  $\text{Ca}^{++}$  et former des CSH ou des aluminates.

## Etude sur mortiers

Les mortiers ont été préparés conformément à la norme EN 196 1. Le sable normalisé et le ciment sont gâchés avec de l'eau dont le rapport E/C = 0.30. Un taux de 10% de cendre volcanique est incorporé dans le ciment pour le mortier avec addition (Tableau 4).

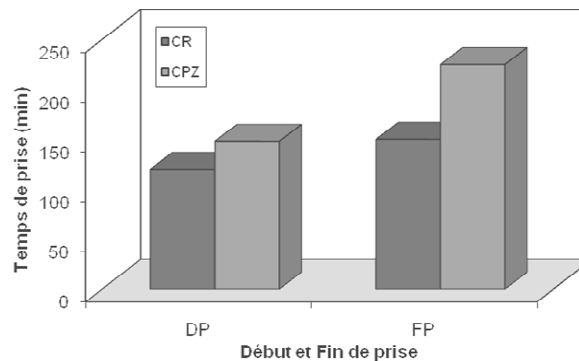
**Tableau 4 :** Composition des mortiers (masse g).

	Ciment	Cendre	Sable	Plastifiant	Eau
Mortier de référence	900	0	2700	5,4	300
Mortier avec cendre	810	90	2700	5,4	300

Après une cure en salle climatisée (20°C, 95% HR), les éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup> de mortier sont stockées avant d'être testées aux différentes échéances. Deux séries sont conservées soit à 20°C 95% d'humidité relative soit à 20°C 50% d'humidité relative. Les différentes échéances sont fixées à 1, 3, 7, 14, 21 et 28 jours.

### *Effet de la cendre volcanique sur les temps de prise.*

La figure 8 montre l'effet de la cendre sur les temps de prise des pâtes cimentaires. La pâte de ciment seul (référence) est notée CR et la pâte ciment + cendre est noté CPZ. La cendre augmente très nettement les temps de prise. Le retard de la prise est attribué principalement à la baisse de la teneur en ciment (C<sub>3</sub>S) qui est responsable du raidissement précoce. Par ailleurs, le degré d'hydratation est contrôlé par la densité et l'épaisseur de la couche de silicate de calcium hydraté C-S-H formée autour des grains de ciment ; la présence de cendre dans cette couche ne peut que retarder le phénomène d'hydratation du mélange et par conséquent le début et la fin de la prise [5, 6, 7].

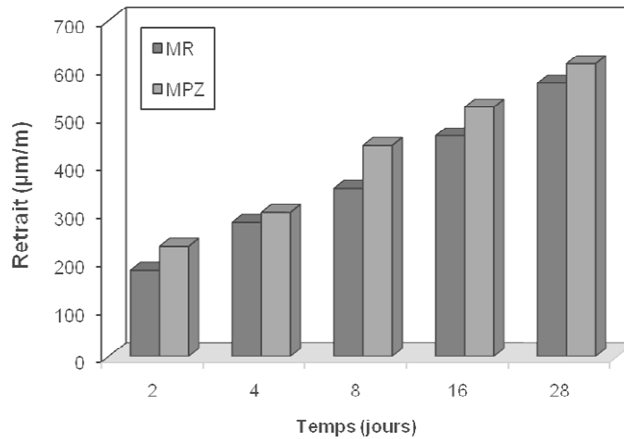


**Figure 8 :** Influence de 10% de cendre sur les temps de prise des pâtes cimentaires.

### *Effet de la cendre volcanique sur le retrait des mortiers.*

Des éprouvettes de mortier avec ou sans cendre ont été confectionnées selon la norme EN 196 1 et sont testées à 2, 4, 8, 16 et 28 jours.

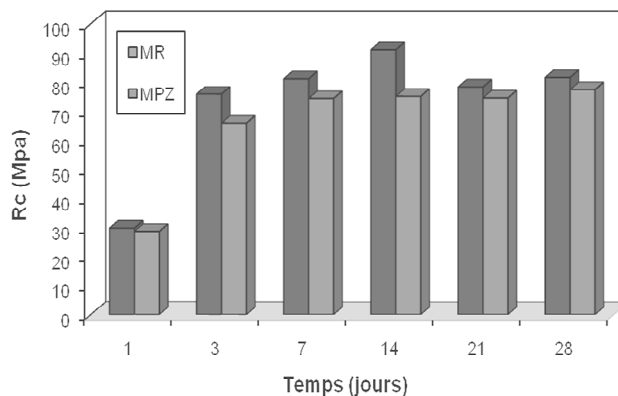
L'effet sur le retrait du mortier est illustré sur la figure 9. Les résultats obtenus montrent que les mortiers développent un retrait qui augmente en fonction du temps [7, 8]. Par ailleurs, la cendre engendre un retrait plus grand que celui du mortier de référence.



**Figure 9 : Evolution du retrait des éprouvettes de mortier.**

***Effet de la cendre volcanique sur les résistances mécaniques des mortiers.***

Le développement des résistances mécaniques des mortiers avec et sans cendre est testé après une cure dans l'eau à 1, 3, 7, 14, 21 et 28 jours. Les résultats sont reportés sur la figure 10. La résistance en compression du mortier de référence MR augmente rapidement jusqu'à 14 jours : âge auquel elle atteint sa valeur maximale soit 91 MPa. Par contre, pour le mortier avec cendre MPZ, la valeur maximale de la résistance de 77 MPa est atteinte à 28 jours. Par ailleurs, l'ajout de cendre engendre une diminution des résistances des mortiers et ceci à tous les âges comme l'ont décrit [1, 9]. La pouzzolane améliore la résistance en compression des mortiers en approchant sans dépasser celle du mortier de référence mais à longue échéance.



**Figure 10 : Evolution des résistances en compression du mortier.**

**CONCLUSION**

L'introduction de la cendre volcanique de Béni Saf en substitution du ciment dans les mortiers a été analysée. Son caractère pouzzolanique est mis en évidence par des méthodes très rapides qui permettent de s'affranchir de tests grandeur nature avec des échéances à 1 mois voir plus. Des suspensions de mélange ciment cendre dans l'eau sont suivies dans le temps par pH-métrie et par conductivité électrique. Après une dizaine d'heures ces paramètres sont stabilisés.

La conductivité croît, passe par un maximum puis décroît. Le phénomène de sursaturation de la solution qui précède la cristallisation des CSH est plus précoce avec le ciment seul qu'avec le mélange ciment cendre volcanique. De façon concomitante, le pH croît plus rapidement avec le ciment seul. Mais la stabilisation du pH est à 13 pour le ciment seul et à 12.6 pour le mélange. La stabilisation a lieu à environ 4h après la mise en suspension pour le ciment seul et 8h avec l'ajout.



L'augmentation de la conductivité est due à la croissance de la concentration ionique et de la mobilité des ions dissous dans l'eau puis la diminution de la conductivité est due à la formation et l'accumulation des hydrates de ciment. L'effet pouzzolanique explique bien ces évolutions de pH et de conductivité : en s'hydratant, le ciment libère des ions de portlandite ( $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{OH}^-$ ) puis, progressivement, la cendre volcanique va capter l'ion  $\text{Ca}^{++}$  et former des CSH ou des aluminates avec les  $\text{Al}^{3+}$ . La cendre a une cinétique de passage en solution plus lente que le clinker. Mais elle réagit avec les ions libérés par ce dernier. Elle a bien un effet pouzzolanique. La pouzzolanité peut être quantifiée par ces essais sur les suspensions.

Les essais classiques de l'évolution des résistances mécaniques en fonction du temps confirment cet effet.

En parallèle, il est à noter des pH de mortiers avec cendre plus faibles qu'avec ciment seul : néanmoins ils sont suffisants pour que les armatures de béton armé soient passivées. Le retrait est légèrement augmenté mais reste dans des domaines la plupart du temps acceptables.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Belaribi, N. B., Semcha, M., Laoufi, L., «Influence de la pouzzolane de Beni-Saf sur les caractéristiques mécaniques des bétons. », *Can. j. Civ. Eng.* 30, 2003, p. 580-584.
2. Morsy, M. S., «Effect of temperature on electrical conductivity of blended cement pastes. » *Cem. concr. Res.* 29, 1999, p. 603-606.
3. Hodne, H., Saasen, A., «The effect of cement zeta potential and slurry conductivity on the consistency of oil well cement slurries. » *Cem. Concr. Res.* 30, 2000, p. 1767- 1772.
4. Barret, P., Bertrandie, D., « Fundamental hydration kinetic features of the major cement constituents:  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  and  $\text{bCa}_1\text{SiO}_4$ . » *Journal de Chimie Physique*, 1983(11/12), p. 765-775,
5. Monosi, S., Morinoci, G., Pauri, M., Collepari, M., «Effect of retarding admixtures on the Portland cement hydration. » *Proceeding of the 8th International Congress on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, III*, 1986, p. 130-141.
6. Baroghel-Bouny, V., «Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Méthodes, analyse, interprétations. » Thèse de doctorat, ENPC : Paris, 1994, p. 467.
7. Garrault, S., Nonat, A., «Hydrated layer formation on  $\text{C}_3\text{S}$  and  $\text{C}_2\text{S}$  surfaces. » *Langmuir*, 17 26, 2001, p. 8131-8138.
8. Mounanga, P., «Etude expérimentale du comportement de pâtes de ciment au très jeune âge : hydratation, retraits, propriétés thermophysiques. » *Thèse de doctorat*, Université de Nantes, Nantes, France, 2003.
9. Holt E., «Early age autogenous shrinkage of concrete. » *Thèse de doctorat de l'Université de Washington* (Seattle, Etats-Unis), 2001.
10. Cengiz, D. A., Kilic, A., Sevim, U. K., «Strength and shrinkage properties of mortar containing a nonstandard high-calcium fly ash. » *Cem. Concr. Res.* 34, 2004, p. 99-102.