



CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES DU CIMENT BLANC ET COMPOSE.

ZEGHICHI. L⁽¹⁾, MEZGHICHE. B⁽²⁾, BENGHAZI. Z⁽³⁾

⁽¹⁾ Maître de conférence ó Faculté de technologie- Université de M'Elmehrik.

⁽²⁾ Maître de conférence ó Université de Biskra.

⁽³⁾ Doctorant ó Faculté de technologie- Université de M'Elmehrik.

Email : zeghichi2004@yahoo.fr

Résumé :

Les ajouts minéraux sont largement utilisés en substitution partielle du ciment portland à travers le monde. Ils proviennent de sources naturelles (pouzzolane, calcaire í .) ou de sous produits industriels (laitier, cendres volantes í), leur valorisation présente plusieurs avantages : économiques, écologiques et technologiques.

L'utilisation de la poudre de verre broyé au remplacement du clinker présente une voie prometteuse pour valoriser et recycler les déchets.

Certains ajouts cimentaires finement broyés ont une influence plus au moins marquée sur les caractéristiques physico ó mécaniques des liants en fonction de leur composition minéralogique, leur finesse et leur pourcentage.

Nous traitons à partir de cette étude l'influence de l'addition de la poudre de verre broyé sur le comportement physique et mécanique du ciment blanc, composé et du mortier ; en variant le pourcentage d'ajout de 10%, 20%, 25%, 30% et 35%, et afin d'accélérer l'hydratation de ces ciments on propose d'effectuer un traitement thermique par étuvage.

Les résultats obtenus montrent qu'une substitution partielle de 10% à 25% semble être favorable, au-delà de cette limite les propriétés mécaniques sont affectées.

Mots clés :

Ajout ó verre ó réaction pouzzolanique ó ciment blanc.

Abstract :

Mineral additions are widely used in partial substitution of Portland cement in the world. They come from natural sources (pozzolan , lime í) or industrial by - products (slag , fly ash í). Their valorization has several advantages: economic, environmental and technological.

The use of crushed glass powder replacement of clinker has a promising way to enhance and recycle waste.

Some additions finely ground have a more or less marked influence on the physico ó mechanical properties of binders according to their mineralogical composition , their finesse and their percentage.

We treat in this study the influence of the addition of crushed glass powder on the physical and mechanical behavior of white cement, composite and mortar by varying the percentage of addition of 10%, 20%, 25%, 30% and 35% . To accelerate the hydration of these cements , we propose to carry out a heat treatment by steaming.

The results show that partial substitution of 10% to 25% seems to be favorable. Beyond that limit the mechanical properties are affected.

**Keywords:**

Addition- glass - pozzolanic reaction - white cement.

1. INTRODUCTION :

L'utilisation des ajouts minéraux en remplacement du clinker est très bénéfique, car en plus des économies d'énergie et de la diminution du CO₂, les ajouts peuvent améliorer les propriétés du béton, en augmentant sa compacité et en changeant sa micro structure.

Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les cendres volantes, la fumée de silice í etc, sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou la réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilité [1,2].

Les verres renferment plusieurs variétés chimiques les alcalis ó silicates binaires, borosilicates et les soudes ó chaux ó silicates ternaires, fabriqués en différentes couleurs [3].

Les déchets de verre concassés sont utilisés en guise de granulats pour la confection des bétons, leurs propriétés sont comparables à celles des autres granulats du point de vue constitution, résistance et durabilité [4,5]. Les réactions alkali granulats (RAG) ont limité l'utilisation des déchets de verre en tant que granulats dans le béton, cette réaction aura lieu en présence des déchets de verre amorphes et la solution dans les pores du béton. En plus des RAG, l'utilisation des bouteilles des verres concassées limite la taille et la forme des particules, le maximum d'une dimension est l'épaisseur de la bouteille ce qui donne naissance a des particules

aplatis, affectant ainsi l'ouvrabilité du béton [6].

Afin de limiter les RAG, plusieurs traitements sont utilisés : mécanique et chimique, il s'agit de réduire la particule de verre par broyage, les études ont montré que la réduction de la taille des particules réduit considérablement la formation des RAG, et augmente la résistance mécanique à la compression du béton [7,8].

L'utilisation des déchets de verre broyés (poudre de verre) en remplacement du clinker fait l'objet de cet article, une poudre amorphe, présentant une teneur élevée en silice : deux paramètres favorables à une réaction pouzzolanique.

Les objectifs principaux de cette étude sont la caractérisation des matériaux utilisés, la comparaison du comportement des liants composés (ciment blanc, CPj) en étudiant les performances mécaniques de la pâte pure et du mortier.

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE :**2.1 Matériaux :**

Nous présentons dans cette partie les différentes caractéristiques des matériaux utilisés :

Le ciment : un CPj CEM II/A 42,5 provenant de la cimenterie de Møvila (Algérie), d'une composition chimique illustrée au tableau 1, présentant une finesse de 3200 cm²/g et une masse volumique absolue de 3,05 g/cm³.

Un ciment blanc : d'une composition chimique illustrée au tableau

1, présentant une finesse 3572cm²/g, et une masse volumique absolue de 3,10g/cm³.

Le verre : il s'agit des déchets de verre, des verres de vitrage brisés, des bouteilles rejetées broyé à une finesse de 2500 cm²/g, qui sont représentés sur les figures 1 et 2. Sa composition chimique est donnée au tableau 1, sa masse volumique absolue est de 2,43g/cm³.



Figure 1 : Déchets de verre



Figure 2 : Poudre de verre

Tableau 1 : composition chimique des matériaux.

Composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Ciment blanc	11.24	3.70	11.70	67.52	0.29
CPj	23.0	5.9	2.9	58.7	1.5
Verre	71.81	1.01	1.86	9.49	2.24

Composants	Na ₂ O	CaO	SO ₃	PaF
Ciment blanc	-	-	-	5.55
CPj	0.7	0.4	2.4	2.4
Verre	7.45	-	-	-

2.2 Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes utilisées sont de différentes géométries :

- Eprouvettes cubiques de 2x2x2cm confectionnées pour estimer la résistance en compression de la pâte.
- Eprouvettes prismatiques 4x4x16 cm confectionnées pour étudier le mortier.

Les éprouvettes sont conservées dans l'eau à une température de 20°C±2 jusqu'à la date prévue de l'essai.

D'autres éprouvettes ont subi un traitement thermique par étuvage, 15 minutes après leur moulage à une température de 60°C et une humidité de 80%.

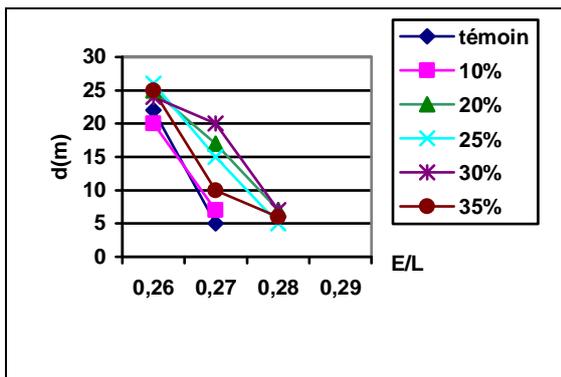
3. RESULTATS ET INTERPRETATION :

3.1 Etude de la pâte :

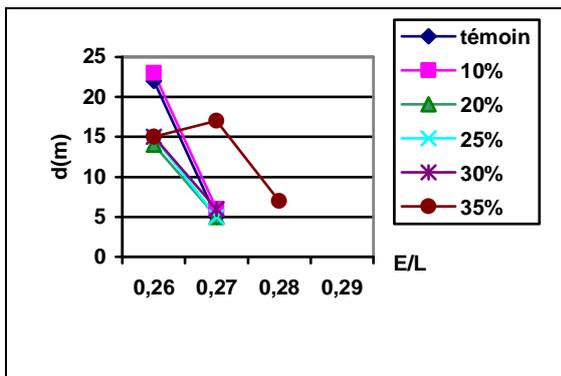
Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec l'eau, l'hydratation commence, et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Deux essais caractérisent la pâte : la consistance et le délai de prise.

3.1.1 Consistance de la pâte :

Afin d'étudier l'effet de la poudre de verre ajoutée au ciment sur la consistance, la poudre est ajoutée avec un pourcentage de 10, 20, 25, 30 et 35% au ciment blanc et au ciment composé (CPj). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (3).



-A-



-B-

Figure 3 : La consistance en fonction du rapport E/C et la teneur en verre.

A : ciment blanc. B : CPj.

La consistance normalisée est obtenue pour un rapport E/C=0,28 pour les mélanges de 20, 25, 30 et 35% d'addition au ciment blanc, par contre elle est obtenue pour un rapport E/C=0,27 pour les mêmes proportions d'addition au ciment composé CPj.

La poudre de verre n'absorbe pas l'eau de gâchage, se qui augmente la quantité de l'eau libre dans la matrice cimentaire, en améliorant ainsi l'ouvrabilité du béton [9]. Par contre les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la teneur en verre à 20, 25, 30 et 35% augmente le rapport E/C en comparaison avec un ciment blanc témoin, se qui peut être expliquer par la finesse de la poudre de verre qui est inférieure à celle du ciment témoin, et par la forme de la particule de la poudre de verre aplatie ce qui demande une quantité d'eau supplémentaire pour son mouillage. Figure (4)

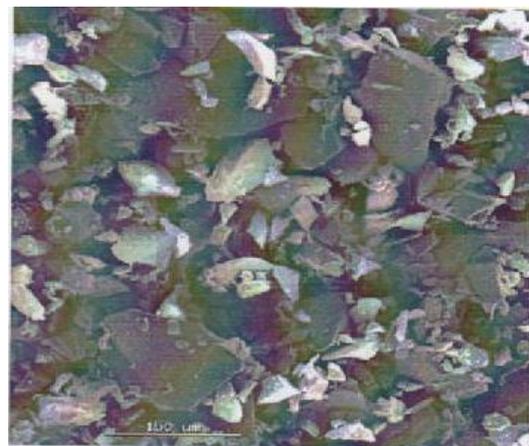


Figure 4 : image en MEB d'une poudre de verre [9]

Dans le cas d'un ciment composé CPj, la consistance normalisée est obtenue pour le même rapport qu'un ciment témoin

et qui ne varie pas en augmentant la teneur en verre.

Les ciments composés (CPj) présentent une plasticité meilleure qu'un ciment portland sans ajout, l'ajout joue le rôle de lubrifiant dans le CPj.

3.1.2 Le délai de prise :

En gardant le E/C = 0,28 pour les mélanges (ciment blanc + poudre de verre) et E/C=0,27 pour les mélanges (CPj + poudre de verre), le début de prise des différents mélanges est représenté sur la figure (5).

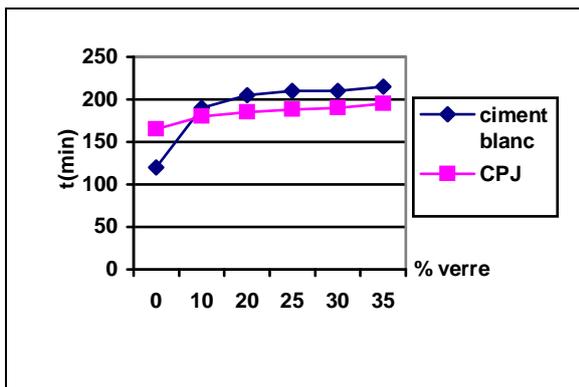


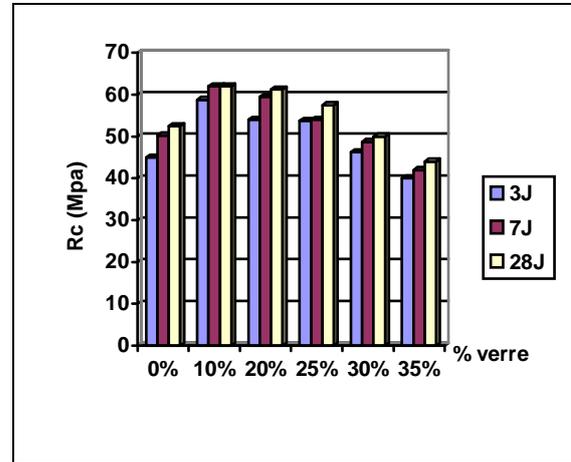
Figure 5 : Le début de prise en fonction de la teneur en verre.

Le début de prise augmente légèrement en augmentant la teneur en verre dans les deux types de ciment, la surface spécifique du verre a affecté le début de prise.

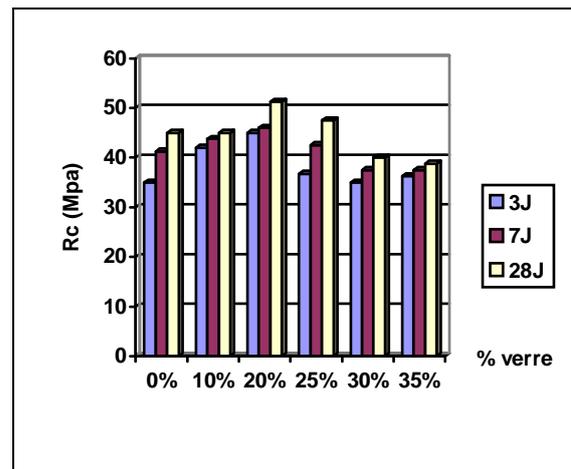
3.1.3 Résistance mécanique :

La résistance mécanique en compression est estimée par la rupture des éprouvettes cubiques 2x2x2cm de la pâte du ciment (Blanc, CPj) en variant la teneur en poudre de verre de 10%, 20%, 25%, 30% et 35%, elle est estimée après 3 jours,

7 jours et 28 jours de durcissement en milieu humide. Les résistances obtenues sont représentées sur la figure(6).



-A-



-B-

Figure 6 : Résistance en compression en fonction de la teneur en verre.

A : ciment blanc B : CPj.

Les résultats montrent que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du pourcentage de la poudre de verre dans l'intervalle de 10% à 25%, au delà de ce pourcentage la résistance est affectée, que ce soit pour un ciment blanc ou un ciment composé.

La résistance en compression des pâtes durcies du ciment composé (CPj +

verre) sont plus faibles que celle du ciment blanc avec ajout. En particulier aux âges précoces à cause des réactions de l'hydratation qui sont lentes en présence d'ajout.

L'amélioration de la résistance peut être expliquée par : l'effet physique et chimique de la poudre de verre. La poudre de verre ajuste la granulométrie du ciment, en augmentant ainsi la compacité de la pâte (effet physique).

Elle présente une réaction pouzzolanique avec les produits d'hydratation du clinker pour former des C-S-H denses. (effet chimique) [9]. Figure (7).

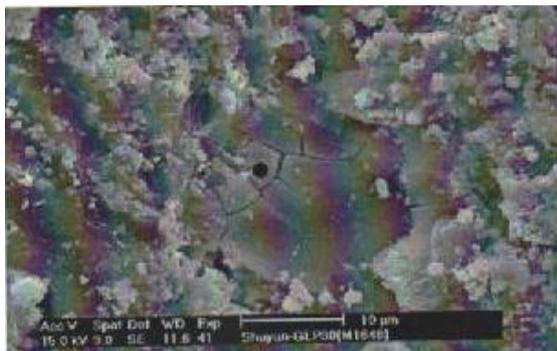


Figure 7 : image en MEB : formation d'un gel riche en Ca [3].

Dans le cas des CPj, l'ajout de base (que renferme le ciment composé) a consommé la portlandite (Ca(OH)₂) pour former des hydrates stables, l'addition de la poudre de verre a légèrement amélioré la résistance par amélioration de la compacité de la pâte.

3.1.4 Effet de l'accélération du durcissement [étuvage] sur la résistance :

Les éprouvettes cubiques sont traitées par étuvage afin d'accélérer le processus de durcissement, 15 minutes après leur moulage, elles ont subi un traitement thermique [60°C et 80% humidité] pendant 16 heures, après refroidissement elles sont rompues par compression (après un jour de durcissement). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (8)

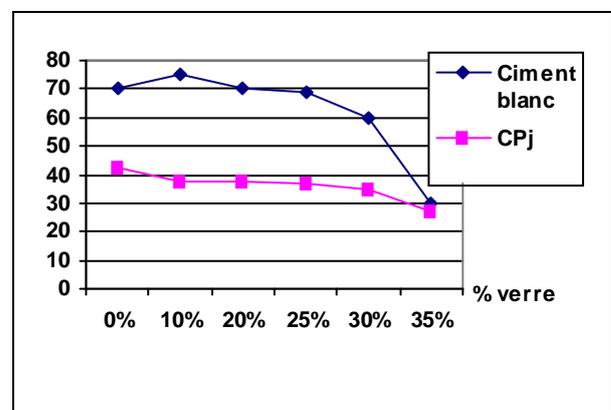


Figure 8 : L'effet de l'étuvage sur la résistance en compression.

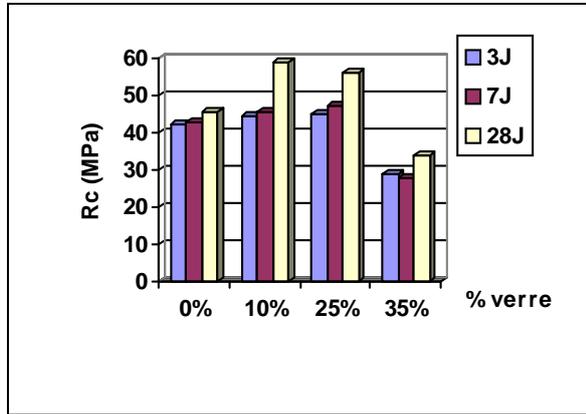
L'étuvage à accélérer considérablement le durcissement, il est efficace dans le cas du ciment blanc avec des pourcentages en verre variant de 10 à 25%.

L'élévation de la température est bénéfique pour améliorer les résistance à l'âge précoce. [9]

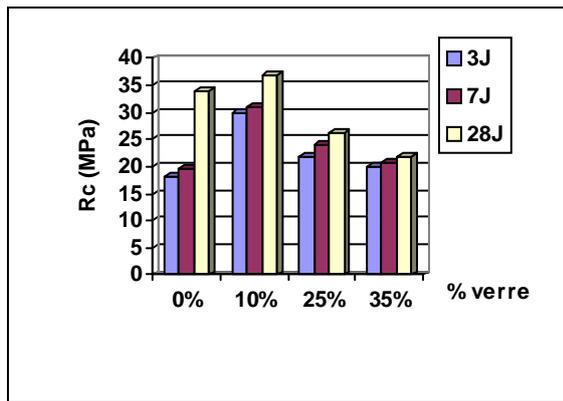
3.2 Etude du mortier normal (1/3) :

Le pourcentage de la poudre de verre ajoutée est fixée à 10%, 25% et 35%, les essais effectués sont : essai de compression et l'essai de traction par flexion après 3 jours, 7jours et 28jours de durcissement. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures (9) et (10).

Les résultats obtenus montrent que la résistance présente la même allure en fonction du pourcentage d'ajout que celle de la pâte.



-A-



-B-

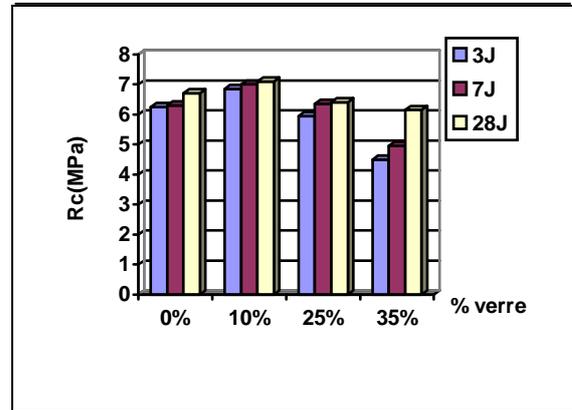
Figure 9 : la résistance en compression du mortier en fonction de la teneur en verre.

-A ó ciment blanc

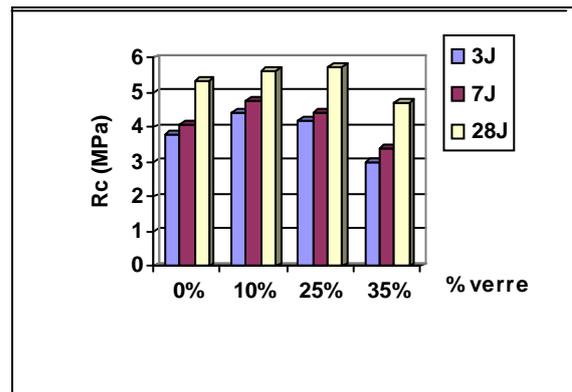
-B- CPj

L'amélioration de la résistance en compression est remarquée pour les additions allant de 10 à 25% de la poudre de verre. Pour une teneur de 10%, la résistance atteint une valeur maximale ce qui peut s'expliquer par le rôle de la poudre qui comble les interstices granulaires et rend le mélange plus compact ; donc on recommande une valeur optimale de 10%. (en augmentant la surface spécifique de la poudre cette valeur peut atteindre 20%).

Les résultats de la traction par flexion sont représentés sur la figure (10).



-A-



-B-

du **Figure 10** : la résistance en traction en

Fonction de la teneur en verre

-A ó ciment blanc

-B- CPj

La résistance en traction présente une légère augmentation en additionnant la poudre de verre aux ciments blanc et composé. On peut expliquer ce phénomène par la faible adhérence entre le ciment et le sable

CONCLUSION :

L'article présenté s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets, il a

traité l'influence de la poudre de verre sur les propriétés physico mécaniques du ciment blanc et du ciment composé (CPj).

Les résultats obtenus ont montré :

- Une addition de 10 à 25% améliore les propriétés physiques et mécaniques du liant :
- o La consistance normalisée est obtenue pour un rapport E/C entre 0,27 et 0,28 comme étant le cas pour un ciment témoin.
- o Le début de prise est influencé par l'addition de la poudre de verre, il augmente légèrement par l'augmentation de l'addition.
- o La résistance en compression est considérablement améliorée, l'augmentation de la résistance est estimée à 16% dans le cas d'un ciment blanc (à 28 jours de durcissement) et de 14% dans le cas d'un CPj.
- o Le traitement thermique par étuvage est efficace, ce qui permet d'utiliser ces liants en préfabrication.
 - L'addition de la poudre de verre au delà de 25% affecte considérablement les propriétés mécaniques.
 - La poudre de verre exerce un effet physique (remplissage) et chimique (réaction pouzzolanique) sur le ciment blanc et un effet physique sur le CPj (l'effet chimique est exercé par l'ajout de base).
 - Les résistances à la rupture en compression des éprouvettes en mortier, présentent la même allure que celles obtenues pour la pâte de ciment.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] o L. Zeghichi, B. Mezghiche, A. Merzougui. L'influence de l'activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons. Lebanese science journal, 8, N° 2, (2007) 105 o 113.
- [2] o R. Khelifa, N. Rahim, A. Muzahim. L'influence des ciments à base d'ajouts minéraux locaux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons. XXIIèmes rencontres AU GC o ville et génie civil, 2004.
- [3] o A. Shayan, A. Xu. Performance of Glass powder as a pozzolanic material in concrete a field trial on concrete slabs. Cement and concrete research 36 (2006), 457 o 468.
- [4] o N. Schwarz, N. Neithalath. Influence of a comparison to flyash and modeling the degree of hydration. Cement and concrete research 38 (2008) 429 o 436.
- [5] o L.M. Federico, S.E. Chidiac. Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete o critical review of treatment methods. Cement and concrete composites 31 (2009) 606 o 610.
- [6] o T.D. Dyer, R.K. Dhir. Chemical reactions of glass cullet used as cement component, J. Mater. Civ. Eng. 13 (2001) 412 o 417.
- [7] o G. Chen, et all. Glass recycling in cement production o an innovative



approach, Waste Manage. 22 (2002)
747 ó 753.

[8] ó N. Schwarz, M. Dubois, N. Neithalath. Electrical conductivity based characteri-zation of plan and coarse glass powder modified cement pastes. Cement and concrete composistes 29 (2007) 656 ó 666.

[9] ó C. Shi, Y.Wu, C. Reifler, H. Wang. Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders. Cement and concrete research 35 (2005) 987 ó 993.