

INFLUENCE DES ADDITIONS SUR LES PERFORMANCES DES MORTIERS ADJUVANTES

Reçu le 03/04/2009 – Accepté le 01/10/2011

Résumé

Les matrices cimentaires confectionnées avec une addition minérale ont fait l'objet de nombreuses études. Toutefois aucune règle générale n'a encore été dégagée pour quantifier les effets de telles additions, vis-à-vis des performances des mortiers, car le mélange des différents matériaux n'est pas une opération simple, à cause des incompatibilités qui peuvent exister entre différents constituants. Par ailleurs, le mélange de matériaux compatibles ne conduit pas toujours aux mêmes résultats ; des interactions (ou interactivités) éventuelles peuvent exister entre les différents types de matériaux. Ces interactions peuvent se manifester par des synergismes ou des antagonismes entre les constituants, et sont difficiles à détecter. Ainsi, peu d'études ont été effectuées pour mettre en évidence les interactions éventuelles entre les différents composants des mélanges cimentaires. Les chercheurs reconnaissent le besoin d'outils complexes et performants pour mener des études dans ce domaine.

Cet article a pour but l'effet d'étudier l'effet des additions minérales, chimiquement inertes ou pouzzolaniques, sur les performances à l'état frais et durci des mortiers. Les paramètres de l'étude sont la nature et la teneur de l'addition minérale. Le taux de substitution du ciment par l'addition est 10 et 20% en masse. L'effet de la nature et de la quantité d'addition est examiné, en choisissant des additions dont la finesse est de même ordre que le ciment.

Les expérimentations sur mortiers normalisés ont permis d'établir que le type de ciment est un paramètre de toute première importance. Il n'est pas aisé de déterminer les caractéristiques du ciment (finesse, teneur en C₃A . . .) qui ont une influence sur le couple addition-superplastifiant.

Mots clés : Matrices cimentaires ; ciment ; fillers calcaires ; cendres volantes ; superplastifiant ; performances ; compatibilité.

Abstract

The cementing matrices made with a mineral addition were the subject of many studies. However no general rule was still released to quantify the effects of such additions, with respect to the performances of the mortars, because the mixture of various materials is not a simple operation, because of the incompatibilities which can exist between various components. In addition, the mixture of compatible materials always does not lead to the same results; interactions (or interactivities) possible can exist between the various types of materials. These interactions can appear by synergisms or antagonisms between the components, and are difficult to detect. Thus, few studies were carried out to highlight the possible interactions between the various components of the cementing mixtures. The researchers recognize the need for complex and powerful tools to undertake studies in this field.

The purpose of this article is to study additions mineral, chemically inert or pozzolanic, on the performances in state fresh and hardened mortars. The parameters of the study are the nature and the content of the mineral addition. The rate of substitution of cement by the addition is 10 and 20% in mass. The influence of the nature and the quantity of addition is examined, by choosing additions whose smoothness is of the same order than cement.

The experiments mainly on mortars made it possible to establish the type of cement is a parameter of very first importance. It is not easy of given the characteristics of cement (smoothness, content of C₃A . . .) who have an influence on the couple addition-superplastifiant.

Keywords : Cementing matrices ; cement ; fillers limestone's ; fly ashes ; superplastifiant ; performances ; compatibility.

C. AMOURI
H. HOUARI

Laboratoire Matériaux et
Durabilité des Constructions
Université Mentouri
Constantine - Algérie

ملخص

العجائن الخرسانية المصنوعة من الإضافات المعدنية كانت موضوع العديد من الدراسات. إلا أنه لا توجد قاعدة حتى الآن لتحديد الآثار المترتبة على هذه الإضافات، وإزاء كفاءات الموننت، لأنه خليط من مواد ليست عملية بسيطة، وذلك بسبب عدم التوافق التي قد توجد بين العناصر المكونة المختلفة. وبالإضافة إلى ذلك، خليط من مواد لا يؤدي دائما إلى نفس النتائج، والتفاعلات المحتملة قد تكون موجودة بين مختلف أنواع المواد. هذه التفاعلات يمكن أن تحدث من خلال التآزر أو العداوات بين المكونات والتي يصعب كشفها. وهكذا فإن الدراسات القليلة التي أجريت لتسليط الضوء على التفاعلات الممكنة بين مختلف العناصر المكونة للخلات الإسمنتية. الباحثون يعرفون حاجة الأدوات القوية والمعدة لإجراء دراسات في هذا المجال.

هذا المقال يهدف إلى استكشاف الإضافات المعدنية، خاملة كيميائيا أو بوزولانيا، أداء الموننت في الحالة السائلة والصلبة. معالم للدراسة طبيعة ومحتوى الإضافات المعدنية. معدل استبدال الاسمنت بالإضافات 10 و 20 ٪ من الكتلة. تأثير طبيعة وكمية الإضافات مدروسة عن طريق اختيار دقة الإضافات المعدنية مماثلة للاسمنت. التجارب الرئيسية على الموننت ومدافع الهاون سمحت لنا بوضع : نوع من الاسمنت هو المعلم ذو الأهمية القصوى. فإنه ليس من السهل تحديد خصائص الاسمنت (الدقة، ومضمون C₃A...) وهذا يؤثر على الزوجين إضافات-إضافات كيميائية. فإن الإضافات الكيميائية بسبب زيادة حادة في المقاومة بجميع المواعيد النهائية. أثره هو أقل وضوحا بالنسبة الموننت مع الرماد المتطاير الاختيار ليس فقط مرتبط بطبيعة الإضافات، لكنه وصف الرابطة (الاسمنت الإضافات).

هذه الدراسة تلقي الضوء على مدى ملائمة مكونات مختلفة وبنبغي أن تساعد في نهاية المطاف إلى وضع قواعد لصياغة العجائن الخرسانية المضافة

الكلمات المفتاحية: العجائن الخرسانية - أسمنت - غبار كلسي - الرماد المتطاير - إضافات كيميائية - كفاءات - التوافق.

La formulation des bétons qui, pendant très longtemps, a reposé sur une simple association ternaire ciment, eau et granulats, s'est progressivement compliquée au point qu'un béton actuel comporte de façon courante cinq constituants : ciment, eau, granulats, additions minérales et adjuvants.

Cet accroissement du nombre de constituants est, d'un point de vue pratique, très avantageux car il conduit, généralement, à l'amélioration très significative des performances mécaniques, physiques et durabilité des bétons.

Nous avons constaté que pour chaque constituant, une multitude de familles ou de types peut exister, et des différences peuvent exister même entre les éléments de chaque famille. Ainsi, une très grande variété de constituant existe dans le marché pour la formulation des matrices cimentaires.

L'expérimentateur ou l'opérateur, ayant l'embarras du choix, se doit de choisir un ensemble de constituants qui conduit aux matériaux possédant les meilleures performances, prenant en compte le coût et les besoins souhaités.

Toutefois, le mélange des différents matériaux n'est pas une opération simple, à cause des incompatibilités qui peuvent exister entre différents constituants.

Par ailleurs, le mélange de matériaux compatibles ne conduit pas toujours aux mêmes résultats ; des interactions (ou interactivités) éventuelles peuvent exister entre les différents types de matériaux. Ces interactions peuvent se manifester par des synergismes ou des antagonismes entre les constituants, et sont difficiles à détecter.

Sheinn et al, 2003 [1] ont observé par exemple une certaine interaction entre le superplastifiant et différents fillers. En absence de superplastifiant, la granularité et la géométrie des particules des différentes additions minérales ou différents types de ciment a une influence sur les performances des matrices cimentaires. Ceci n'est pas vrai en présence de superplastifiant dans la matrice cimentaire ; les propriétés semblent varier en fonction de la réactivité des particules et l'affinité entre superplastifiant et additions minérales et/ou type de ciments.

Par ailleurs, Juvas et al [2] ont mis en évidence une interaction entre le superplastifiant et le ciment, ils montrent que la variation de l'ouvrabilité des mortiers sans superplastifiants en fonction du type de ciment est très faible, tandis que l'ajout de superplastifiant amplifie le rôle joué par le type du ciment sur l'ouvrabilité.

Ainsi peu d'études ont été effectuées pour mettre en évidence les interactions éventuelles entre les matériaux des mélanges cimentaires. Les chercheurs reconnaissent le besoin d'outils complexes et performants pour mener des études dans ce domaine. Par conséquent, plusieurs questions se posent :

L'ajout d'un tel constituant a-t-il une influence sur les rôles de base des autres et comment peut il modifier le comportement d'une matrice cimentaire.

Pour y répondre, il faut avoir une bonne compréhension des effets propres de chaque composant et des interactivités.

Cette étude s'inscrit dans cette optique et porte sur l'influence du taux de substitution et de la nature des additions minérales sur les résistances mécaniques (compression, flexion) des mortiers à l'état durci à différentes échéances, ainsi que sur les principales caractéristiques des mortiers frais (teneur en air occlus, maniabilité, masse volumique).

1. MATERIAUX ET PROCEDEURES EXPERIMENTALES

1.1. Matériaux

Les matériaux utilisés pour la formulation des mortiers sont :

1.1.1. Ciment

Le ciment utilisé dans l'étude des mortiers est un CPA-CEMI42,5. Ce ciment provient de la cimenterie de Tébesa. La masse volumique absolue est de 3200 Kg/m³ et sa surface spécifique de 2900 cm²/g. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques sont présentées dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Composition chimique et minéralogique du ciment (CPA-CEMI)

Composition chimique (%)									
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Na ₂ O	PF
CEM I	20.01	2.97	4.65	64.01	0.62	2.15	0.015	0.24	4.34
Composition minéralogique (Bogue)									
phases	C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		
% massique	61.28		15.90		7.99		9.64		

1.1.2. Additions

Deux types d'additions ont été utilisés dans cette étude :

- des additions calcaires (FC)
- des Cendres Volantes (CV)

1.1.2.1. Additions calcaires (FC)

L'addition calcaire est obtenue par broyage poussé d'une même roche calcaire. La masse volumique réelle du filler calcaire est de 2650 Kg/m³ et sa surface spécifique de Blaine de 2800 cm²/g. La composition chimique est présentée au tableau 2

Tableau 2 : propriétés chimiques des fillers

Composition chimique							
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	NaCl	PF
0.58	0.02	0.06	55.85	0.06	0.07	0.56	43.80

Bien que les calcaires ne soient pas inertes chimiquement (formation de carbo-aluminates), les répercussions de ces réactions chimiques sur la résistance

des mortiers ou des bétons ne sont pas, à notre connaissance, quantifiées de façon définitive.

1.1.2.2 Cendres volantes (CV)

Une cendre volante brute de fraîche production est étudiée.

La composition chimique et minéralogique d'une cendre volante issue d'une centrale thermique n'est pas constante dans le temps. Elle dépend du type de charbon utilisé et des réglages de la centrale thermique.

Dans cette étude la cendre provient d'un même lot et est stockée dans des emballages hermétiques. La composition chimique de la cendre volante est indiquée dans le tableau 3.

Tableau 3 : composition chimique de la cendre volante

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	PF	Total
%	52.5	2.2	27.9	5.6	1.0	1.8	0.6	0.7	3.3	96

La masse volumique réelle de la cendre volante est de 2194 Kg/m³ et sa surface spécifique de Blaine de 3840 cm²/g.

1.1.3 Superplastifiant

Pour réaliser l'objectif de cette étude, nous avons procédé aux travaux de recherche en considérant un adjuvant, conforme à la norme EN 934-2, ce qui permettra de juger de l'influence de l'adjuvant sur les performances des matériaux cimentaires.

Un adjuvant SP haut réducteur d'eau MEDAPLAST SP40, produit par Granitex Algérie. Plage de dosage recommandée : 0,6 à 2,5% du poids de ciment.

Les principales caractéristiques de l'adjuvant utilisé sont récapitulées dans le tableau 4.

Tableau 4 : caractéristiques de l'adjuvant utilisé

Caractéristiques	Forme	Couleur	Densité	PH	Teneur cl	Extrait sec
MEDAPLAST SP40	liquide	Marron	1,20±0,01	8,2	< 1 g/l	40%

1.1.4 Sable normalisé

Les mortiers sont confectionnés avec un sable normalisé NF EN 196-1. Ce sable naturel siliceux a une masse volumique réelle égale à 2640 Kg/m³. Sa teneur en eau est inférieure à 0.2%.

1.2. Paramètres de composition

Le mortier témoin, confectionné selon la norme NF EN 196-1, est constitué, en masse, d'une partie de ciment (450 Kg/m³), de 3 parties de sable et d'une demi-partie d'eau.

Les mortiers avec additions sont obtenus dans les mêmes conditions en remplaçant une fraction massique (taux de substitution) de ciment par l'addition minérale, les quantités de sable, d'eau et de SP (8 litres) restant inchangées.

En fixant la quantité d'eau, l'effet réducteur d'eau de certaines additions n'est pas mis à profit mais cette approche permet de réduire le nombre de paramètres variant simultanément. C'est la raison pour laquelle nous avons travaillé à quantité d'eau constante et non pas à maniabilité. Les taux de substitution massiques étudiés sont 10 et 20 %. Les éprouvettes sont conservées dans l'eau à 20±1°C jusqu'aux échéances de rupture (1, 3, 7, 14, 28 et 90 jours).

1.3. Procédures expérimentales

1.3.1 Masse volumique

La masse volumique ρ des mortiers, mis en place à la table à chocs, est mesurée par différence de pesées du moule 4X4X16 cm selon la norme NF EN 196-1. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

1.3.2 Air occlus

Le principe de la mesure de l'air occlus repose sur la compressibilité des bulles d'air contenues dans les mortiers frais et l'application de la loi de Mariotte. L'appareil de mesure classique est composé d'un bol de un litre dans lequel le mortier est incorporé en deux couches, compactées par simple piquage (NF P 18-353). L'appareil donne directement la lecture de l'air contenu dans le portier sous forme de bulles. L'air occlus moyen est estimé à partir de trois mesures.

1.3.3 Maniabilité

La maniabilité des mortiers est mesurée au maniabilimètre à mortier LCL, (NF P 15-437), l'essai consistant à mesurer le temps d'écoulement d'un mortier frais soumis à des vibrations.

1.3.4 Résistances mécaniques

Les mesures se font sur des éprouvettes de mortiers normales 4x4x16 cm démoulées à un jour et conservées dans l'eau jusqu'à moment de l'essai (NF EN 196-1). Les essais mécaniques normalisés ont été réalisés aux échéances

de 1, 3, 7, 14, 28 et 90 jours de façon à observer l'évolution progressive des performances. Chaque éprouvette donne un résultat de flexion et deux de compression.

Un plus grand nombre d'éprouvettes sont testés aux courtes échéances (1, 2j), afin d'augmenter la précision sur les résistances encore peu élevée aux jeunes âges.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Masse volumique des mortiers frais

D'une manière générale, les courbes (Figure 1) de masses volumiques sont décroissantes avec le taux de substitution, excepté pour celles des mortiers avec cendre volante, pour lesquelles un optimum est observé pour un taux de 10% de substitution.

Cette décroissance s'explique logiquement par le fait que les additions qui remplacent le ciment ont une masse volumique réelle inférieure.

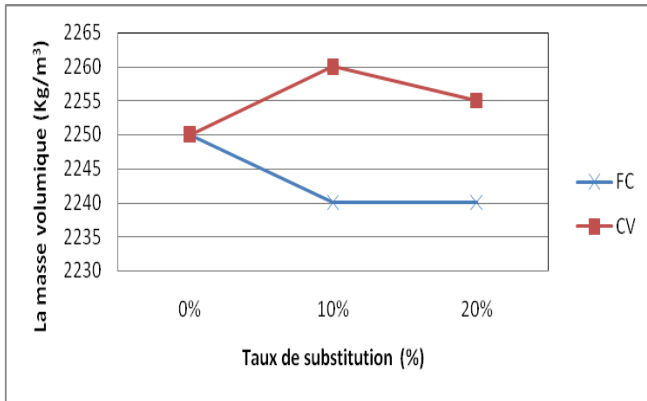


Figure 1 : Variation de la masse volumique en fonction du taux des additions

L'optimum observé pour les mortiers avec cendres traduit forcément une meilleure compacité des mélanges.

Pour les additions calcaires, aucune augmentation de masse volumique des mortiers frais n'est observée. Notons que ces additions ont pourtant une masse volumique réelle (voisine de 2650 kg/cm³) plus élevée que celle des cendres volantes.

Pour les taux de 20%, les masses volumiques décroissent pour les deux additions.

2.2. Air occlus

La durabilité du béton dépend de la perméabilité du mortier. La quantité d'air dans le mortier influe sur la résistance du produit. La résistance diminue lorsque le contenu d'air ou de perméabilité augmente.

Les résultats obtenus sont reportés sur la figure 2.

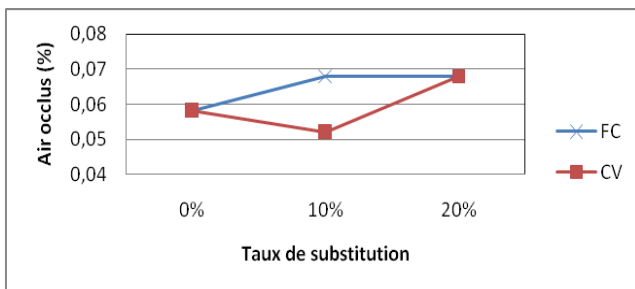


Figure 2 : Variation de l'air occlus en fonction de taux des additions

L'air occlus diminue pour les mortiers contenant les cendres volantes pour un taux de 10%.

Pour l'addition CV, la quantité d'air occlus est indépendante du taux de substitution, alors qu'elle a tendance à croître dans le cas des mortiers contenant les fillers calcaires.

2.3. Maniabilité

Les résultats présentés sur la figure 3 montrent une trop faible variation du temps d'écoulement pour l'ensemble des compositions pour être significative (quel que soit le type et la teneur d'additions). La maniabilité pour les mortiers avec additions est sensiblement identique à celle du mortier témoin (10 s).

Comme l'atteste les résultats de maniabilité, aucun mortier n'a posé de difficulté de mise en place lors de sa confection.

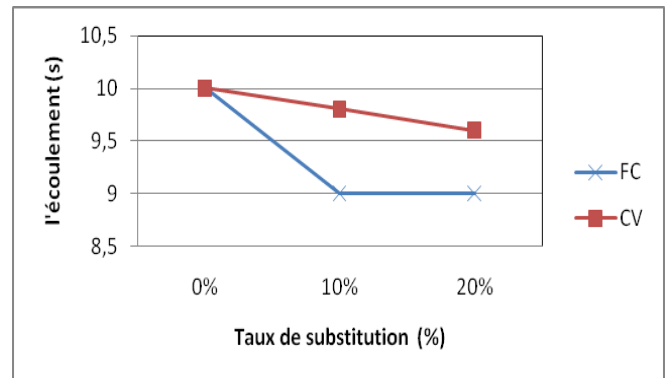


Figure 3 : Variation de la masse volumique en fonction du taux des additions

Une légère amélioration de la fluidité des mortiers par l'addition des cendres volantes a été observée, comme rapporté par Shindo et al [3], Poon et al [4] et Paya et al [5]: les cendres volantes empêchent les particules de ciment de se former dans des blocs. Dans le même contexte Lang et al, 1997 [6] ont conclu, pour une fluidité donnée.

L'introduction spécifique de cendre volante réduisait la quantité d'eau et augmentait la fluidité du mélange (la forme sphérique des particules facilite l'empilement granulaire et réduit les frictions inter-granulaire).

2.4. Résistances mécaniques

La figure 4 suivante illustre les résistances obtenues en fonction de la quantité d'addition pour les deux additions minérales, pour toutes les échéances.

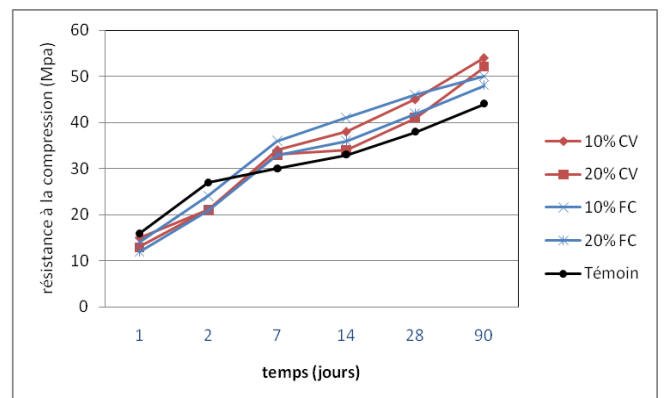


Figure 4 : Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge

Pour les échéances de 1, 2 et 7 jours, les résistances sont des fonctions linéaires du taux de substitution pour les deux additions. De plus, que les courbes correspondantes à chaque addition, se positionnent dans un fuseau resserré.

Notons une absence d'influence du type et taux d'addition sur les résistances aux courtes échéances pour ce type de ciment.

En effet, Husson,1991 [7] a montré par une étude physico-chimique et mécanique des interactions ciment-fillers dans les mortiers que les additions minérales pouvaient avoir un effet retardateur plus important que l'effet accélérateur aux jeunes âges.

A moyen terme (7 et 14 j), les mortiers avec calcaires à 10% donnent des résistances légèrement supérieures aux autres. Cet avantage n'est pas durable car pour les échéances supérieures (28 et 90 jours), les mortiers contenant les additions calcaires ou cendre volante présentent les mêmes résistances pour un taux de substitution donné.

Pour une addition chimiquement inerte, de courbe granulaire proche de celle du ciment, les résistances en compression restent des fonctions quasiment linéaires du taux de substitution dans la plage de substitution, quelle que soit l'échéance des essais. Cette linéarité n'est plus respectée pour les mortiers confectionnés avec des cendres volantes ; en effet le démarrage de la réaction pouzzolanique est visible à partir de 28 jours, ce qui se traduit par un accroissement notable des résistances.

Les effets du superplastifiant sont marqués lorsque la quantité de ciment est importante. Dans tous les cas de substitution, l'influence du superplastifiant est plus faible que sur le mortier témoin.

Sur la figure 5, les résistances en flexion sont illustrées en fonction des résistances en compression, pour les deux taux aux échéances retenues.

Nous observons une bonne corrélation entre les résistances en flexion et en compression pour les deux additions.

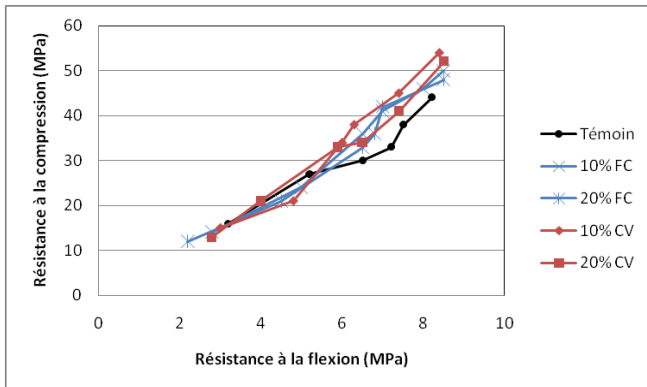


Figure 5 : résistance en compression en fonction de la résistance en flexion

Notons qu'à partir d'une certaine résistance du mortier (respectivement 60% en compression et 70% en traction par rapport à la résistance finale), la valeur en compression augmente plus vite que celle en flexion.

CONCLUSION

Cette campagne d'essais a permis de confirmer un certain nombre de résultats relevés dans la bibliographie concernant les performances des mortiers à l'état frais et durci.

De l'étude de quelques propriétés des mortiers frais, nous retenons une diminution sensible de la quantité d'air occlus pour les mortiers contenant les cendres volantes avec un taux de 10%. Cette diminution se traduit par une meilleure compacité des mortiers frais.

Pour les additions calcaires, aucune augmentation de masse volumique des mortiers frais n'est mise en évidence. Pour les taux plus forts (20%), les masses volumiques décroissent pour les deux additions.

Concernant les résistances, il se dégage de l'étude que, les résistances des mortiers, aux jeunes âges, contenant une addition de finesse voisine du ciment suivent une fonction linéaire du dosage et sont indépendants de la nature de l'addition qu'elle soit inerte ou pouzzolanique.

Un accroissement des résistances faible et temporaire, mais néanmoins significatif, est relevé au delà de 7 jours. Le surplus de résistance ne peut être attribué qu'à la nature minéralogique de l'addition. Notons que cet accroissement de résistances est toutefois bien moindre que celui produit par la réaction pouzzolanique.

Les mortiers avec calcaires à 10% donnent des résistances légèrement supérieures aux autres. Cet avantage n'est pas durable car pour les échéances supérieures (28 et 90 jours), les mortiers contenant les additions calcaires ou cendre volante présentent les mêmes résistances pour un taux de substitution donné.

Le type de ciment est un paramètre de toute première importance. Il n'est pas aisé de déterminer les caractéristiques du ciment (finesse, teneur en C3A . . .) qui ont une influence sur le couple addition-superplastifiant.

Le choix n'est donc pas seulement une fonction de la nature de l'addition mais une caractérisation de l'association (ciment-addition-superplastifiant).

Cette étude apporte un éclairage sur l'adéquation des différents composants et devrait aider à terme, à la mise en place de règles de formulation des matériaux cimentaires adjuvants.

REFERENCES

- [1] Sheinn A.M.M., Ho D.W.S., Tam C.T., "Effects of particule shape on paste rheology of SCC", Proceeding of the Third International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Island, pp.233-239, 2003
- [2] Juvas K., Käppi A., Salo K., Nordenswan E., "Effects of cement variations on concrete workability", Nordic Concrete Federation, 2002.
- [3] Shindo D., Matsuoka M., "The effect of materials quality on properties of super workable concrete", Proc. JCI 14(1) (1992) 78-83.
- [4] Poon C.S., Lam L., Wong Y.L., "Effects of fly ash and silica fume on interfacial porosity of concrete", J. Mater. Civ. Eng. 11 (1999) 197-225.
- [5] Paya J., Monzo J., Bornachero M.V., Peris-Mora E., Gonzalez-Lopez E., "Mechanical treatment of fly ashes: Part II. Particle morphologies in ground fly ash (FGA)-cement mortars", Cement and Concrete Research 26 (1996) 225-235, ELSIVIER.

- [6] Lang F., Mortel N., Rudert V., "Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties" *Cement and Concrete Research* 27 (1997) 1481-1488, ELSIVIER.
- [7] Husson S., "Etude physico-chimique et mécanique des interactions ciment-fillers: application aux mortiers", Thèse de l'école normale supérieure des mines de Saint-Etienne, (1991), France.
- [8] Hallal A., Ezziane K., Djeddar M., Kadri A., "Effet combine des superplastifiants et des additions minérales sur la fluidité des coulis de ciment", Séminaire Nationale de Génie Civil, Annabe Novembre 2007
- [9] Adnan Colak., « Characteristics of pastes from a portland cement containing different amounts of natural pozzolan », *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 585-593, ELSIVIER.
- [10] Seung Heun Lee., Hong Joo Kim., Etsuo Sakai., Masaki Daimon., "Effect of particle size distribution of fly ash-cement system on the fluidity of cement pastes", *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 763-768, ELSIVIER.
- [11] Pipat T., Toyoharu Nawa., "The fluidity of Fly ash-cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer", *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 1017-1024, ELSIVIER.
- [12] Gengying L., Xiaozhong W., "Influence of Fly ash and its mean particle size on certain engineering properties of cement composite mortars", *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1128-1134, ELSIVIER.
- [13] Yun-Xing S., Isamu M., Yu-Jun G., "A study on the effect of fine mineral powders with distinct vitreous contents on the fluidity and rheological properties of concrete", *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 1381-1387, ELSIVIER.
- [14] Park C.K., Noh M.H., Park T.H., "Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures", *Cement and Concrete Research* 35 (2004) 842-849, ELSIVIER.