

---

# Evaluation expérimentale de l'adéquation ciment-addition sur les performances des mortiers superplastifiés

Amouri Chahinez<sup>1\*</sup>, Houari Hacène<sup>2</sup>

L MDC, Université Mentouri Constantine, BP 25000, Algérie. [c.amouri@yahoo.fr](mailto:c.amouri@yahoo.fr)

LMDC, Université Mentouri Constantine, BP 25000, Algérie.  
[hhouarilmdc@yahoo.fr](mailto:hhouarilmdc@yahoo.fr)

\* [c.amouri@yahoo.fr](mailto:c.amouri@yahoo.fr)

---

RESUME. Il est de l'avis de tous les spécialistes du domaine du béton que les ajouts jouent un rôle important dans la fabrication des bétons durables. Toutefois aucune règle générale n'a encore été dégagée pour quantifier les effets de telles additions, vis-à-vis des performances des matériaux hydrauliques, 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 éventuelles peuvent exister entre les différents types de matériaux. Cet article a pour but d'étudier l'effet des additions minérales, sur les performances à l'état frais et durci des matériaux cimentaires. 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.

ABSTRACT. It is the opinion of all experts in the field of concrete that additions play an important role in the production of durable concrete. However, no rule has yet been found to quantify the effects of such additions, vis-vis-a-vis the performance of hydraulic materials, because of incompatibilities that may exist between different components. In addition, the mixture of materials compatible does not always lead to the same results; possible interactions may exist between different types of materials. This article aims to study the effect of mineral additives on the performance fresh and hardened cementitious materials. The parameters of the study are the nature and content of the mineral addition. The rate of substitution of cement by adding a 10 to 20% by mass.

MOTS-CLES : matrices cimentaires, addition, adjuvant, influence, performance, compatibilité

KEYWORDS: cementing matrices, addition, admixture, influence, performance.

## 1. Introduction :

L'incorporation des additions minérales est maintenant une technique importante en améliorant non seulement les propriétés à l'état frais, mais aussi la durabilité, due à leurs propriétés hydrauliques latentes et réaction pozzolanique.

Toutefois, le mélange des différents matériaux n'est pas une opération simple, à cause des incompatibilités qui peuvent exister entre différents constituants. 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 (alcali-réaction, hydratation freinée, . . .).

L'analyse des travaux publiés, ne permet pas encore de disposer d'une approche suffisamment construite et approfondie qui permette de prévoir l'effet que peut produire une addition donnée dans une formulation (Amouri *et al.*, 2007) et de ce fait, nous ne maîtrisons pas encore les critères de choix des additions pour améliorer les propriétés rhéologiques d'une formulation donnée. Donc, un des problèmes principaux en technologie du béton moderne est le choix approprié de ciment-superplastifiant compatible avec d'autres additions minérales.

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).

## 2. Matériaux

### 2.1 Ciment

Les caractéristiques du ciment sont présentées dans le tableau 1 :

<i>Composition chimique (%)</i>									
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl	Na <sub>2</sub> O	PF
CEM I	20,01	2,97	4,65	64,01	0,62	2,15	0,015	0,24	4,34
<i>Composition minéralogique (Bogue)</i>									
phases	C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF		
% massique	61,28		15,90		7,99		9,64		

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

Evaluation expérimentale de l'adéquation ciment-addition sur les performances des mortiers superplastifiés

Le ciment utilisé dans l'étude des mortiers est un CPA-CEMI42,5. Ce ciment provient de la cimenterie de Tébessa. La masse volumique absolue est de 3200 kg/m<sup>3</sup> et sa surface spécifique de 2900 cm<sup>2</sup>/g.

### 2.2 Additions calcaires (FC)

L'addition calcaire est obtenue par broyage poussé d'un même gisement. La masse volumique réelle du filler calcaire est de 2650 Kg/m<sup>3</sup> et sa surface spécifique Blaine de 2800 cm<sup>2</sup>/g.

-La composition chimique est présentée au tableau 2 :

<i>Composition chimique (%)</i>							
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	NaCl	PF
0,58	0,02	0,06	55,85	0,06	0,07	0,56	43,80

**Tableau 2.** *Propriétés chimique des fillers*

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.

### 2.3 Cendres Volantes (CV)

Une cendre volante brute de fraîche production est étudiée.

La composition chimique et minéralogique d'une cendre 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 :

	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	PF	Total
%	52,5	2,2	27,9	5,6	1,0	1,8	0,6	0,7	3,3	95,6

**Tableau 3.** *Composition chimique de la cendre volante*

La masse volumique réelle de la cendre volante est de 2194 Kg/m<sup>3</sup> et sa surface Blaine de 3840 cm<sup>2</sup>/g.

#### 2.4 Superplastifiant

Pour réaliser l'objectif de cette étude, nous avons procédé aux travaux de recherche 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 Super plastifiant haut réducteur d'eau « MEDAPLAST SP40 », produit par « Granitex Algérie ». Plage de dosage recommandée : 0,6 à 2,5% du poids du ciment.

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

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

**Tableau 4.** *Caractéristiques de l'adjuvant utilisé*

#### 2.5 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/m<sup>3</sup>. Sa teneur en eau est inférieure à 0,2%.

### 3. Procédures expérimentales

La masse volumique  $\rho$  des mortiers, mis en place à l'aide de la table à chocs, est mesurée par différence de pesées des moules 4x4x16 cm selon la norme NF EN 196-1. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

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 mortier sous forme de bulles. L'air occlus moyen est estimé à partir de trois mesures.

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.

Les mesures se font sur des éprouvettes de mortier normal 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 et 2j), afin d'augmenter la précision sur les résistances encore peu élevées aux jeunes âges.

#### 4. Résultats et discussions

##### 4.1 Masse volumique des mortiers frais

La variation de la masse volumique en fonction du taux de l'addition est illustrée dans cette figure 1.

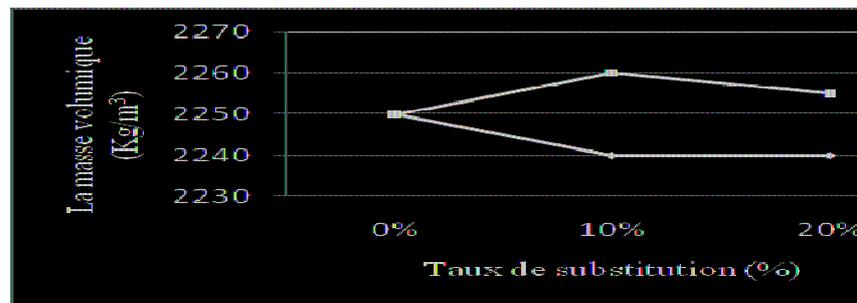


Figure 1. Variation de la masse volumique en fonction du taux des additions

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.

L'optimum observé pour les mortiers avec cendres traduit forcément une meilleure compacité des mélanges. Ceci peut être justifié par la contribution de ces particules à densifier la pâte qui conduit à un empilement plus compact des grains solides et à modifier la microstructure en réduisant les pores de la matrice cimentaire

##### 4.2 Air occlus

Les résultats obtenus sont reportés sur la figure 2.

L'air occlus diminue pour les mortiers contenant les cendres volantes pour un taux de 10%. Le volume d'air occlus dans tous les mortiers est limité dans un domaine assez réduit et acceptable, entre 5,2 et 6,8%.

Pour l'addition FC, 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.

Les particules de CV (à 10%) remplissent l'espace entre les particules de ciment ayant pour résultat la microstructure imperméable du mortier. Donc l'effet remplissant des CV est l'un des facteurs important pour le développement des mortiers denses.



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

#### 4.3 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. La maniabilité pour les mortiers avec additions est sensiblement identique à celle du mortier témoin.

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

Une légère amélioration de la fluidité des mortiers par l'addition des cendres volantes a été observée, comme rapporté par (Shindo *et al.*, 1999), (Poon *et al.*, 1999) et (Pala *et al.*, 2007) : les cendres volantes empêchent les particules de ciment de se former dans des blocs. Dans le même contexte (Langan *et al.*, 1997) ont conclu, pour une fluidité donnée.

Pour la FC la densité était basse et le contenu d'air élevé. Avec une fluidité inadéquate et une mauvaise compaction, les mélanges à base de FC présentent des

densités faibles et une teneur en air occlus élevée. Il est en raison de la fluidité inadéquate et du compactage mauvais de la masse dans les mesures de densité.

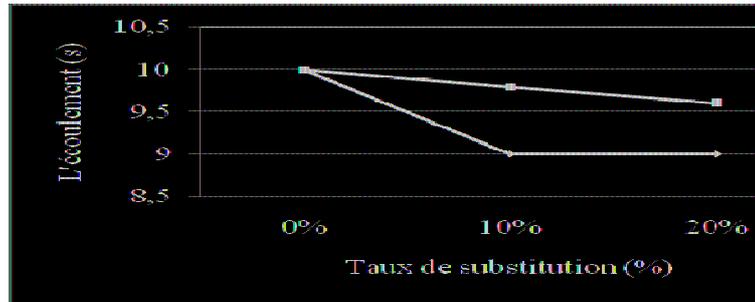


Figure 3. Variation de la masse volumique en fonction du taux des additions

#### 4.4 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.

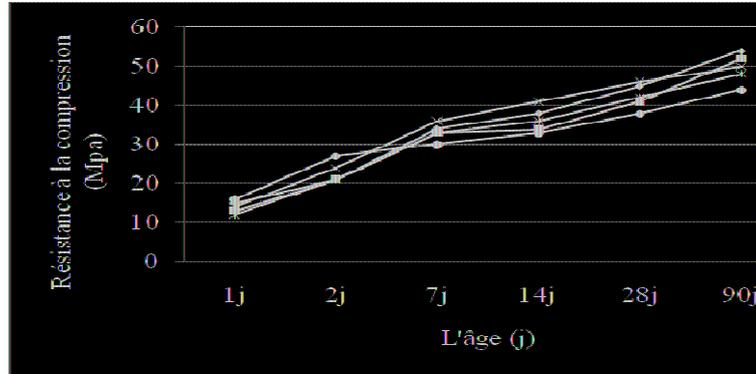
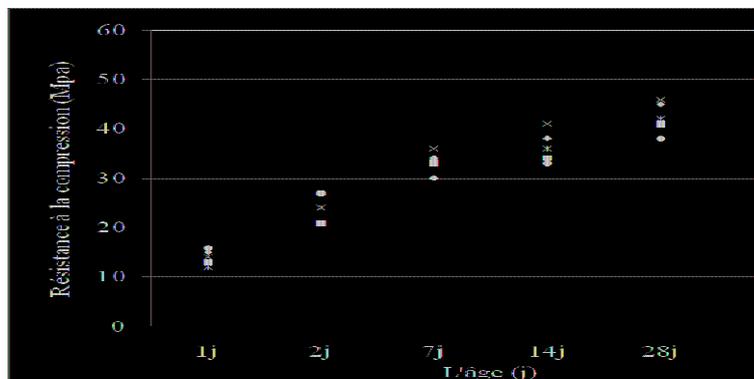


Figure 4. Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge



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, les courbes correspondantes à chaque addition, se positionnent dans un fuseau resserré.

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

En effet, (Husson, 1999) 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.

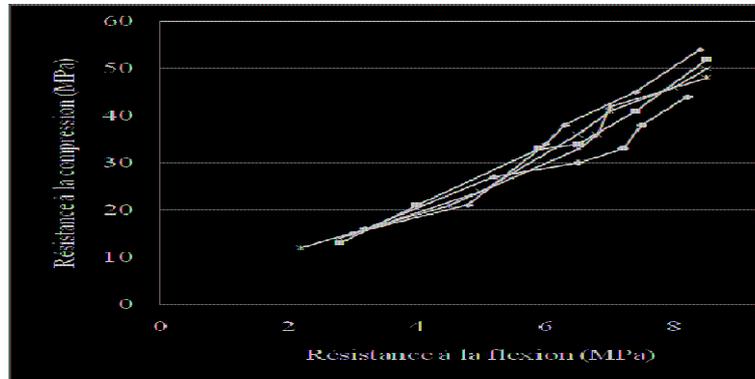
A moyen terme (7 et 14 j), les mortiers avec calcaires à 10% donnent des résistances légèrement supérieures aux autres. Cet avantage n'est pas durable car pour les échéances supérieures (28 et 90 jours), les mortiers contenant les additions calcaires ou cendre volante présentent les mêmes résistances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

Nous constatons que les mortiers s'alignent sur la bissectrice du diagramme. Seul le témoin présente un comportement qui s'écarte par rapport à celui des autres additions et qui est caractérisé par une contribution plus importante à la résistance en compression qu'à la flexion.

## 5. 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  $C_3A$ ...) 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).

## 6. References:

- Amouri C., Houari H., «Influence des additions sur les performances des mortiers adjuvantés », *Revue Science et Technologie ST/B-ISSN-1111-5041*, Vol. B, n°30, 2009, pp. 15-20.
- Amouri C., Houari H., « The impact of the additions on the development of the performances of cementing materials », *Cement and Concrete Conference and Exhibition*, Kuwait, 8-9 June, 2010, 8 p.
- Colak A., «Characteristics of pastes from a portland cement containing different amounts of natural pozzolan», *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2003, pp. 585-593.
- Erdogdu S., «Compatibility of superplasticizers with cements different in composition», *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, 2000, pp. 767-773.
- Hanehara S, Yamada K., « Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behavior of admixture, and paste rheology », *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1998, pp. 1159-1165.
- 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, France, 1991.
- Langan, B.W, Weng K. and Ward M.A, «Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of Portland cement», *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, 2002, p. 1045-1051.

Evaluation expérimentale de l'adéquation ciment-addition sur les performances des mortiers superplastifiés

- Pala. M, Özbay M, Öztaş A et Yuce I M, «Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks», *Construction and Building Materials*, Vol. 21, Issue 2, 2007, pp. 384-394.
- Park C.K., Noh M.H., Park T.H., «Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures», *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2004, pp. 842-849.
- Pipat T., Toyoharu N., «The fluidity of Fly ash-cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer», *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, 2003, pp. 1017-1024.
- Poon C.S., Lam L., Wong Y.L., «Effects of fly ash and silica fume on interfacial porosity of concrete», *J. Mater. Civ. Eng.* Vol. 11, 1999, p. 197-225.
- Qing Y, Zenan Z, Deyu K, Rongshen C., «Influence of nano-SiO<sub>2</sub> addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume», *Construction and Building Materials*, Vol. 21, 2007, pp. 539-545.
- Seung H.L., Hong J.K., Etsuo S., Masaki D., «Effect of particle size distribution of fly ash-cement system on the fluidity of cement pastes», *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2003, pp. 763-768.
- Shi Y-X., Matsui I., Guo Y-J., «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*, Vol. 34, 2003, pp. 1381-1387.