Influence des fillers sur l'ouvrabilité des bétons autoplaçants

A. El Hilali*, E. Ghorbel*, P. Gonnon**

**L2MGC - Université de Cergy-Pontoise, 5 Mail Gay-Lussac, Neuville Sur Oise 95031 Cergy-Pontoise Cedex.*
Abdellah.El-Hilali@iupgc.u-cergy.fr, elhem.ghorbel@u.cergy.fr

***OMYA SAS – 5 Rue de l'Aiguillon, ZI Lyon-Nord, 69730 GENAY*
Pascal.Gonnon@omya.com

RESUME. *Cet article traite l'influence des fillers calcaires sur les propriétés des bétons autoplaçants à l'état frais. Les fillers étudiés (BETOCARB® P2) sont différents par leur surface de Blaine "B" notés respectivement "MF-S", "LF-E" et "LF-O". Toutes les compositions ont été fabriquées avec une teneur en eau fixe (164 L), un même rapport eau-ciment (E/C=0.46), un rapport G/S=1 et un dosage en superplastifiant différent "SP" qui varie entre 0.7% et 1.4%. La teneur en fines est constante 116 Kg/m^3. Les résultats conduits sur les BAP frais en utilisant l'essai de slump flow, J-Ring, et L-Box montrent que l'ajout de fillers ayant une grande surface de Blaine améliore la fluidité du BAP particulièrement en milieu confiné, sa résistance à la ségrégation et la robustesse de sa formulation. De même, il apparaît que la finesse des fillers influe sur la demande en superplastifiant de façon significative.*

ABSTRACT. *This paper deals with the influence of calcareous fillers on the fresh properties of self compacting concrete. Three types of fillers (BETOCARB® P2) are investigated differing in their grain size distribution and in their Blaine surface area "B". All mixtures were proportioned with fixed water content (164 L), the same water-cement ratio (W/C=0.46), a ratio gravel/sand G/S=1 and different superplasticizer proportioning "SP" which varies between 0,7 and 1,4%. The filler content is set constant and about 116 Kg/m^3.*

The results conducted on fresh SCC mixes using slump flow, J-ring and L-Box tests show that the addition of MF-S fillers provides a self compacting concrete with the best fluidity (viscosity) especially at confined surroundings, the best resistance to segregation and the more robust formulation. Moreover, the powder fineness has an influence on the superplastizer demand.

MOTS CLES : béton autoplaçant, Fillers calcaires, Rhéologie.

KEYWORDS: Self-compacting Concrete, limestone Filler, Rheology.

1. Introduction

Les bétons autoplaçants sont caractérisés par leur fluidité élevée de sorte qu'ils puissent être mis en application sans vibration. Les effets des fillers sur leur comportement à l'état frais et à l'état durci sont de grande importance pour un plus large usage de ces matériaux. Diverses études suggèrent que l'addition des fillers, pouzzolaniques ou non pouzzolaniques, au ciment de Portland affecte les propriétés du béton frais et durci. Parmi les fillers non pouzzolaniques, les fines calcaires et de dolomite sont les plus fréquemment utilisées dans des mélanges de BAP (Billberg P., 1999). Différents auteurs ont établi que les fines calcaires augmente la stabilité et l'ouvrabilité des BAP frais (Nehdi et al, 2000 et Ghezal et al., 2002). D'autre part, on signale que le retrait et le module d'élasticité dépendent non seulement des effets de fillers mais également du volume de la pâte (Bui et al,1999; Gram et al,1999 et Persson, 2001). Zhu et al, 2004 ont montré que la finesse des fillers calcaires a peu d'effet sur la demande en superplastifiant et mène de manière significative à une augmentation de la résistance à la compression particulièrement aux jeunes âges par comparaison à un béton vibré avec les mêmes rapports Eau/liant. Le but de cette recherche est d'étudier l'effet de la finesse des fillers ayant une composition chimique comparable mais provenant de roches mères différentes, sur les propriétés du BAP à l'état frais avec un même rapport de Eau/liant.

2. Matériaux

2.1. Ciment

Le ciment de Portland (CPA CEM I 52.5 selon EN 196-3) est fourni par CALCIA. Sa composition minéralogique est calculée en utilisant les formules de Bogue: C3S=58%, C2S=13%, CA=10%, CAF=7%. Le ciment a une densité relative de 3.11 et une surface de Blaine égale à 395 m²/Kg. La résistance de compression à 2 jours est égale à 35MPa.

2.2. Granulats

Les granulats utilisés sont des granulats semi-concassés (S 0-4 et G 4-10). Ils viennent des carrières de Saint-Louis en France et sont produits par le groupe ''GSM Italcementi''. Le sable (S 0/4) contient 75% SiO2, 20% $CaCO_3$, 4% de feldspaths et d'autres minéraux tandis que le gravier est composé de 70% de SiO2, 25% de $CaCO_3$, de 5% feldspaths et d'autres minéraux. Les granulats sont caractérisés par leur densité absolue respectivement ρ_s=2,6 et ρ_g=2,5 .Leur analyse granulométrique est présentée sur la figure 1.

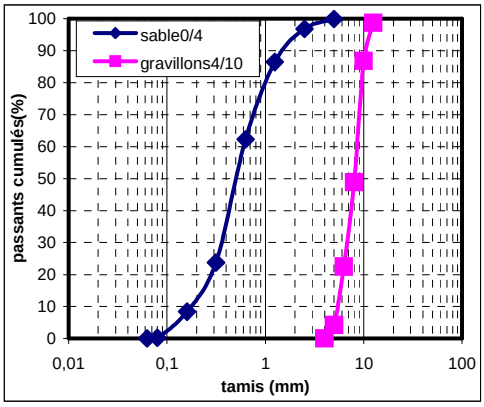

Figure1. *Analyse granulométrique des granulats.*

2.3. Fillers

Les fillers utilisés, BETOCARB® P2, sont des additions calcaires (NF P 18-508). Ils sont fabriqués par le groupe Omya SAS. Ils se présentent sous forme de poudre en cristal non-abrasive de calcite caractérisée par une structure rhomboédrique. Trois origines de fillers sont choisis: "MF-S", "LF-O" et "LF-E". Leurs caractéristiques physiques et chimiques sont récapitulées dans le Tableau 1. La limite de liquidité "w_L", la limite de plasticité "wp" ainsi que le coefficient d'uniformité de Hazen "Cu" sont obtenus expérimentalement dans cette étude. Toutes les autres caractéristiques, présentées dans le tableau 1, sont données par la société Omya SAS. Leur analyse indique que tous les fillers ont une faible plasticité (w_L<35 %) et que l'augmentation de la surface de Blaine conduit à une diminution de l'indice de plasticité "I_P". La courbe granulométrique des trois fillers est présentée sur la figure2.

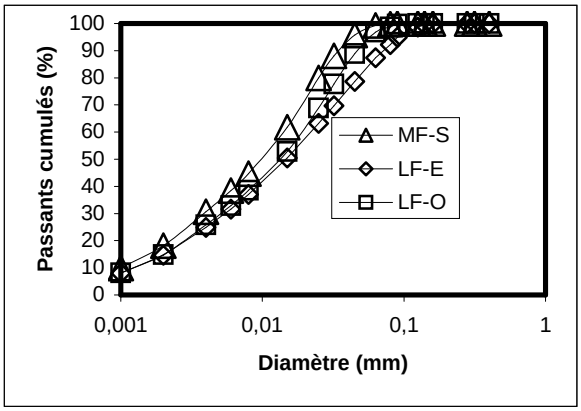

Figure 2. *Analyse granulométrique des trois fillers*

Type de Fillers	MF-S	LF-O	LF-E
Roche mère	Marbre	Calcaire	Calcaire
Analyse chimique			
$CaCO_3$ (%)	99,2	98,5	98,5
SiO_2 (%)	0,3	0,4	0,4
Na_2O (%)	0,002	0,008	0,008
S (%)	0,002	0,074	0,002
HCl (%)	0,001	0,002	0,003
Propriétés physiques			
Densité absolue	2,71	2,70	2,72
Densité apparente	0,720	0,820	0,900
Surface de Blaine (m²/Kg)	552	457	409
Indice d'activité i_{28}	0,77	0,78	0,77
Cu	15	12,85	18,3
W_L(%)	22,8	24	23
W_p(%)	18,1	19	17,8
I_p	4,7	5	5,2
Fines <63µm (%)	99,3	96,7	87,4

Tableau 1. C*aractéristiques physico-chimiques des trois fillers*

2.4. Superplastifiant

Le superplastifiant utilisé est Cimfluid 2002 produit par la société Axim du Groupe Italcimenti. C'est un produit de nouvelle génération basé sur des chaînes de polycarboxylate modifié particulièrement conçu pour le BAP et spécifiquement pour des applications préfabriquées. Il contient 35% d'extrait séc.

3. Résultats Expérimentaux

Pour étudier l'effet, de la finesse des fillers sur la demande en superplastifiant dans le béton, son ouvrabilité (Slump Flow), sa stabilité (stabilité au Tamis) et sa résistance à la ségrégation (L-boîte et J-Ring), 13 compositions différentes ont été élaborées en changeant le dosage en superplastifiant ''SP''.

3.1. Résultats de slump flow et de L-Box

Les principaux résultats montrent que:

- Pour le filler "LF-E" un dosage en superplastifiant tel que SP<0,9% est à l'origine d'une mauvaise mobilité du béton à travers le ferraillage (figure 3). D'autre part, quand SP>1,15% la fluidité devient très importante et une ségrégation statique est détectée. Par conséquent, un dosage en superplastifiant tel que 0,9%<SP<1,15%

conduit à des résultats satisfaisants en termes de mobilité du béton en milieu confiné et d'ouvrabilité. Le dosage optimal en SP est de 1,05%.

- Pour le filler "MF-S" un mauvais écoulement du BAP à travers le ferraillage est observé avec blocage pour SP=0,7% et ségrégation pour SP=0,9%. Par ailleurs, la fluidité devient très importante et une ségrégation statique apparaît dès lors que $SP \geq 1{,}4\%$. Par conséquent 0,9%<SP<1,4% est une gamme satisfaisante du dosage en SP. Le dosage optimal en SP est de 1,35%.

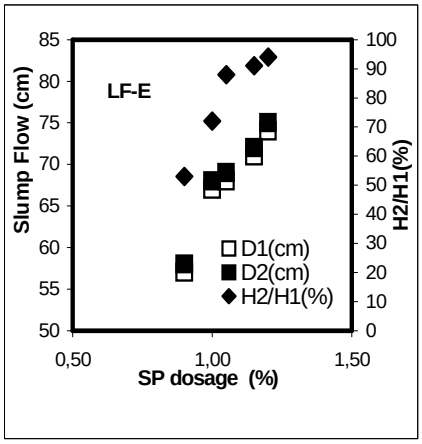

Figure3. *Résultats de Slump Flow et L-Box "LF-E''*

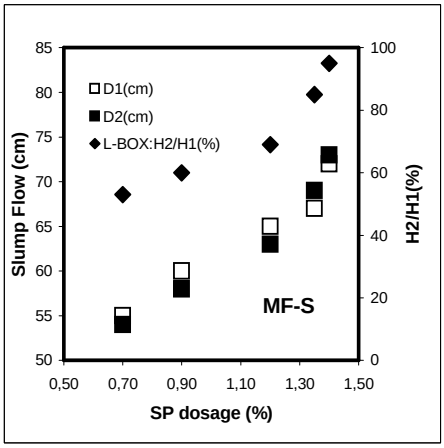

Figure4. *Résultats de Slump Flow et L-Box "MF-S''*

- Pour le filler "LF-O" les résultats obtenus à travers les essais de L-Box et d'étalement indiquent que l'ouvrabilité du BAP, sa résistance à la ségrégation dynamique et sa mobilité en milieu confiné sont en accord avec les recommandations de l'AFGC 2000 pour SP=0,8% (la figure 5).

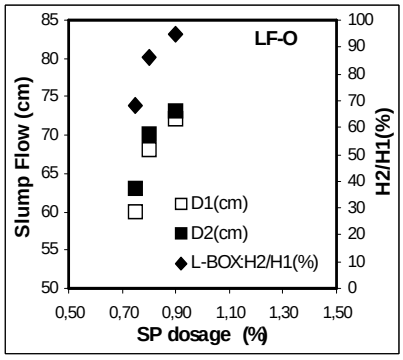

Figure5. *Résultats de Slump Flow et L-Box''LF-O''.*

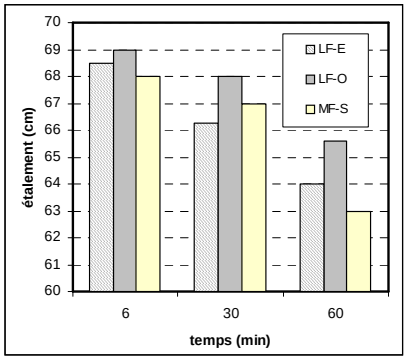

Figure6. *Evolution Slump Flow en fonction du temps*

On remarque qu'à même formulation, le dosage du superplastifiant CIMFLUID 2002 dépend de la finesse du couple « Ciment+filler ». L'évolution de l'étalement en fonction du temps est décrite par la figure 6. On observe une diminution d'ouvrabilité des BAP au cours du temps. Cette diminution est plus importante pour le BAP fabriqué avec des fillers ayant une surface de Blaine "B" plus élevée.

3.2. Résultats de J-Ring et de stabilité au tamis

Les résultats obtenus indiquent que toutes les compositions des BAP ont de bonnes capacités d'écoulement à travers les renforts (1,5cm<Hi-He<3,6cm). L'étalement du BAP en milieu ferraillé n'est pas affecté par la finesse des fillers et diminue de façon significative en augmentant le dosage en SP (la figure 7) ce qui est à un point de saturation en adjuvant.

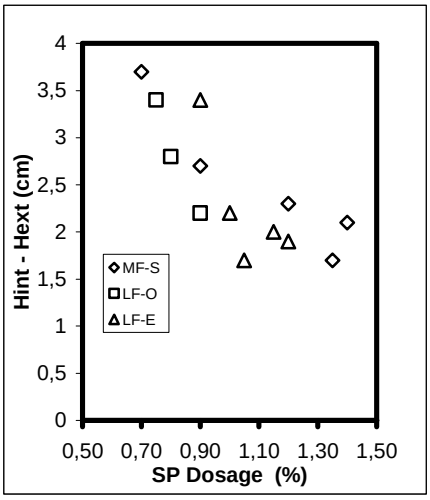

Figure7. *Résultats de J-RING en fonction du dosage du ''SP''*

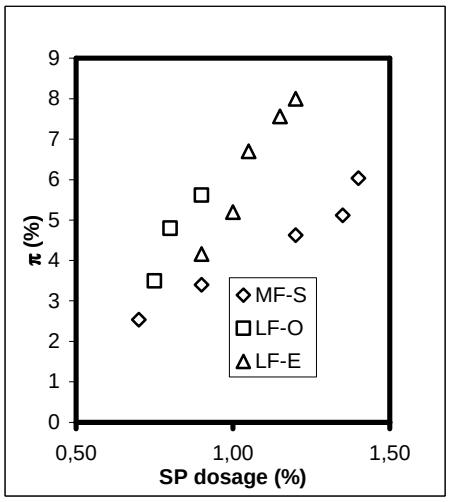

Figure8. *Evolution de la laitance en fonction du dosage du''SP''*

Les résultats issus des essais de stabilité au tamis montrent que toutes les compositions testées ont une stabilité satisfaisante (0%<π<15%). La figure 8 n'indique aucune corrélation entre la surface de Blaine et la stabilité de BAP. Cette stabilité diminue en augmentant le dosage en SP.

4. Composition de référence et caractérisation

Les trois compositions de BAP de référence répondant à toutes les exigences de l'AFGC 2000 sont récapitulées dans le tableau 2. La cinétique d'absorption d'eau pour les compositions de référence a été suivie par simple mesure gravimétrique.

Avant immersion dans l'eau tous les échantillons ont été séchés à 80°C. Les courbes de prise de l'eau des trois BAP de référence révèlent que la cinétique de diffusion est Fickienne. Il apparaît que le coefficient de diffusion « D » et la masse d'eau absorbée à saturation sont d'autant plus faibles que la surface de Blaine du filler est élevée (figure 9). Ces résultats montrent que l'ajout des fillers calcaires de surface de Blaine élevée augmente la compacité du béton au détriment de sa porosité.

	MF-S	LF-O	LF-E
Dosage			
Ciment (kg/m^3)	350	350	350
Filler (kg/m^3)	116	116	116
Sable 0/4 (kg/m^3)	944	944	944
Gravillon4/10 (kg/m^3)	789	789	789
Eau (kg/m^3)	164	164	164
SP (%)	1,35	0,8	1,05
Propriétés à l'état frais			
SF (mm)	630	665	640
$H_{\text{int}} - H_{ext}$ (mm)	17	28	17
H_2/H_1 (%)	85	86	88
π (%)	5,12	4,8	6,7
Densité théorique	2,369	2,366	2,367
Densité expérimentale	2,374	2,371	2,368
Porosité (%)	2,35	2,43	2.85

Table 2. *Dosage et résultats des BAP de référence*

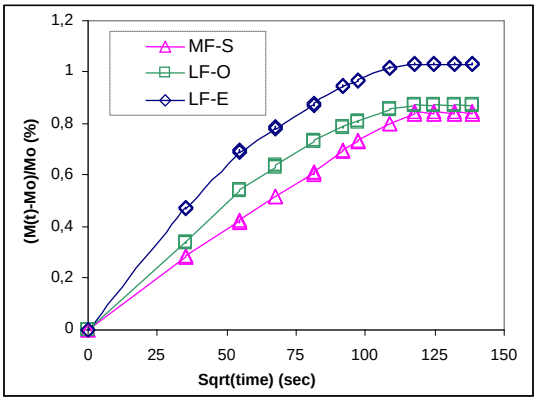

Figure9. *Courbe d'absorption d'eau des trois fillers*

6. Conclusion

Les principaux résultats obtenus montrent que :

- Le dosage en SP dépend à la fois de l'origine et de la finesse des additions calcaires. Pour les fillers utilisés, une augmentation de la surface de Blaine conduit à une diminution du dosage en SP.

- La plage de dosage en SP obtenue sur la base des essais de Slump Flow et de L-Box requise pour satisfaire le caractère autoplaçant du béton est d'autant plus étendue que la surface de Blaine des additions calcaires est élevée.

- Les essais de J-Ring n'ont pas mis en exergue l'influence de la surface de Blaine des additions calcaires sur l'ouvrabilité des BAP dans un milieu confiné. Cependant, ils ont permis de montrer l'influence du dosage en SP.

- L'ouvrabilité diminue au cours du temps d'une manière plus significative quand la surface de Blaine est plus élevée.

Références

AFGC, "Recommandations de l'association française de génie civil : Bétons Autoplaçants", projet national, juin 2000.

Billberg P," Fine mortar rheology in mix design of SCC", *Proccedings of the first international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, RILEM, Cachan cedex,1999, pp. 47-58

Bui VK, Montgomery.D, Hinczak.I, Turner.K ," Dryingshrinkage of self-compacting concrete containing milled limestone", *Proccedings of the first international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, RILEM, Cachan cedex,1999, pp. 227-238

Ghezal.A, Khayat.KH.,''Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods'',*ACI Mater*,J.99(3) pp. 264-272

Gram .HE, Piiparinen.P," Properties of SCC-Especially earlyage and long term shrinkage and salt frost resistance", *Proccedings of the first international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM*, Cachan cedex,1999, pp. 211-225

Nehdi M, Rahman.M," Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials", *Cement and concrete Research* 30(10), 2000, pp. 1663-1669.

Persson B.," A comparison between mechanical properties of self compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and concrete Research* 31, 2001, pp. 193-198

Zhu W, Gibbs J.C. , "Use of different limestone and chalk powders in self compacting concrete", Cement Concrete and Research 35, 2005, pp. 1457-1462.