

EFFETS DES DÉCHETS DE DÉMOLITION EN BRIQUE SUR LES PROPRIÉTÉS AUTOPLAÇANTES DES BÉTONS

Mourad BEHIM¹, Wided MERABET² et Tahar Ali BOUCETTA³

¹ Enseignant / chercheur, ² Doctorant et ³ Master

Université BADJI MOKHTARA - BP 12 - Annaba - 23000 - Algérie

RÉSUMÉ

Pour formuler un béton autoplaçant (BAP) il est nécessaire de respecter un certain nombre de critères, notamment l'emploi d'addition fine pour assurer un volume de pâte requis. Pour garantir un volume de pâte suffisant deux possibilités sont offertes: la première consiste en l'augmentation du dosage en ciment, ce qui induit un surcoût sur le plan économique et des risques de fissuration par une exothermie importante sur le plan technique, alors que la deuxième solution consiste en l'emploi de diverses additions minérales. En effet peu d'études ont été conduites sur les déchets de démolition en maçonnerie de brique d'argile cuite finement broyée (filler de brique, FB) comme addition au BAP. Les déchets de démolition en maçonnerie de brique sont entreposés en décharge. Notre travail consiste à substituer totalement le filler calcaire traditionnellement utilisé dans les BAP par des tessons céramique récupérés sur des gravats de maçonnerie de brique rouge avec des dosages allant de 30 à 60 %. Les résultats obtenus offrent une alternative intéressante pour la valorisation de ces déchets et constitue un substituant au filler calcaire.

MOTS CLES : BAP, gravats de brique, additions, fines, recyclage

1. INTRODUCTION

Les bétons autoplaçants (BAP) constituent une nouvelle génération de béton. Ce sont des bétons très fluides, se mettant en place sans vibration. Cette propriété peut être obtenue par l'emploi de superplastifiant et l'augmentation du volume de pâte pour assurer une bonne dispersion des gros granulats sans aucune tendance à la ségrégation [1]. Pour assurer un volume de pâte suffisant deux possibilités sont offertes : la première consiste en l'augmentation du dosage en ciment, ce qui induit un surcoût sur le plan économique et des risques de fissuration par une exothermie importante, sur le plan technique alors que la deuxième consiste en l'emploi de diverses additions minérales. En effet, ces additions sont souvent des déchets industriels (laitier granulé de haut fourneau), ménagers (verre d'emballage coloré) ou de démolition en béton ou en maçonnerie, qui sont à faible impact économique et environnemental. De nombreuses études ont montrées les effets favorables des additions minérales fines sur les propriétés des BAP à l'état frais [2] à l'état durci [3], notamment les fillers calcaires qui sont les plus utilisées [4]. Cependant, l'influence des additions minérales sur la fluidité des BAP est fonction du dosage, du type, de la finesse et de la forme des particules [5 - 7]. En effet, peu d'études ont été conduites sur les déchets de démolition en maçonnerie de brique d'argile cuite comme addition fine au BAP. Les gravats de démolition en maçonnerie de brique d'argile cuite sont généralement entreposés en décharge, car il existe peu d'alternative pour leur recyclage. L'emploi de ces gravats dans les BAP pourrait constituer une alternative intéressante aussi bien sur le plan environnemental par l'économie de matières premières et la réduction d'émission de gaz carbonique, générée par la fabrication du ciment, que sur le plan technico-économique par l'amélioration des propriétés des BAP à l'état frais et à l'état durci que pourrait apporter la poudre de brique rouge. Notre travail consiste à substituer le filler calcaire traditionnellement utilisés dans les BAP par des tessons céramique récupérés sur des gravats de maçonnerie en brique rouge cuite.

A cet effet, un béton autoplaçant de référence

(BAPR) sans addition a été formulé en se basant uniquement sur les critères recommandés par l'AFGC [8]. A la base de cette composition de référence six bétons autoplaçants ont été formulés en introduisant le filler calcaire (FC) et le filler de brique (FB) à des taux de 30, 45 et 60 % par rapport à la masse du ciment. Les bétons autoplaçants formulés doivent satisfaire plusieurs tests normalisés [9, 10 et 11] qui permettent de caractériser les principales propriétés des BAP à l'état frais : mobilité en milieu non confiné, essai réalisé par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (SF) et le temps d'étalement pour un diamètre de 500 mm (T_{500}) [9], mobilité en milieu confiné réalisé par l'essai du taux de remplissage dans la boîte en L (PL) [10] et la résistance à la ségrégation exprimée par l'essai de stabilité au tamis (SR) [11]. Nous avons aussi choisi deux autres essais comme paramètres rhéologiques : la viscosité selon le modèle Kurokawa [12] et le seuil de cisaillement selon la méthode LCPC Box [13].

2. MATÉRIAUX

2.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un CEM II 42,5, de masse volumique apparente ($r_{app} = 1020 \text{ kg / m}^3$), de masse volumique absolue ($r_{abs} = 3000 \text{ kg / m}^3$, de finesse Blaine $3480 \text{ cm}^2/\text{g}$, et de composition minéralogique suivante : $C_3S = 59,66$; $C_2S = 16,45$; $C_3A = 9,14$ et $C_4AF = 11,02$.

2.2. Les additions

Le filler calcaire est composé essentiellement de calcite (> 70 %). Il est obtenu par broyage de pierre calcaire. La poudre de brique est obtenue par concassage et broyage de gravats de maçonnerie en brique d'argile. Le broyage est réalisé dans un même broyeur à boulets dont la composition et la quantité de corps broyant, ainsi que la durée de broyage ont été maintenues constantes pour toutes les additions. Les compositions chimiques et les caractéristiques physiques des deux additions sont données au tableau 1.

Tableau 1 - Caractéristiques physiques et compositions chimiques des additions

	Composition chimique, %								Densité Kg/m ³		Fines < 63µm, %	S. S. B cm ² /g
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	PAF	Abs.	App.		
FC	0,5	55,15	0,11	0,06	1,35	0,20	0,08	42,50	2640	858	23	9918
FB	74,34	2,59	15,68	6,87	2,01	2,83	0,57	0,10	2670	815	8	12197

FC - Filler calcaire

FB - Filler brique

2.3. Les granulats

Les sables utilisés dans cette étude sont de deux natures différentes. Le premier est un sable roulé de dune, siliceux et fin. Le deuxième est un sable concassé, de roche naturelle calcaire. Le gravillon et le gravier sont des granulats concassés, de même nature minéralogique que le sable concassé. Les principales caractéristiques des granulats sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 - Caractéristiques physiques des granulats

Caractéristiques	Unités	Sable roulé	Sable concassé	Gravillon	Gravier
Masse volumique apparente	Kg/m ³	1332	1425	1377	1360
Masse volumique Absolus	Kg/m ³	2580	2520	2560	2500
d/D	-	0/1.25	0/4	4/8	5 /15
Module de finesse	-	1.85	2.69	-	-
Equivalent de sable	%	90.62	90.56	-	-

L'analyse granulométrique des granulats est présentée sur la figure 1

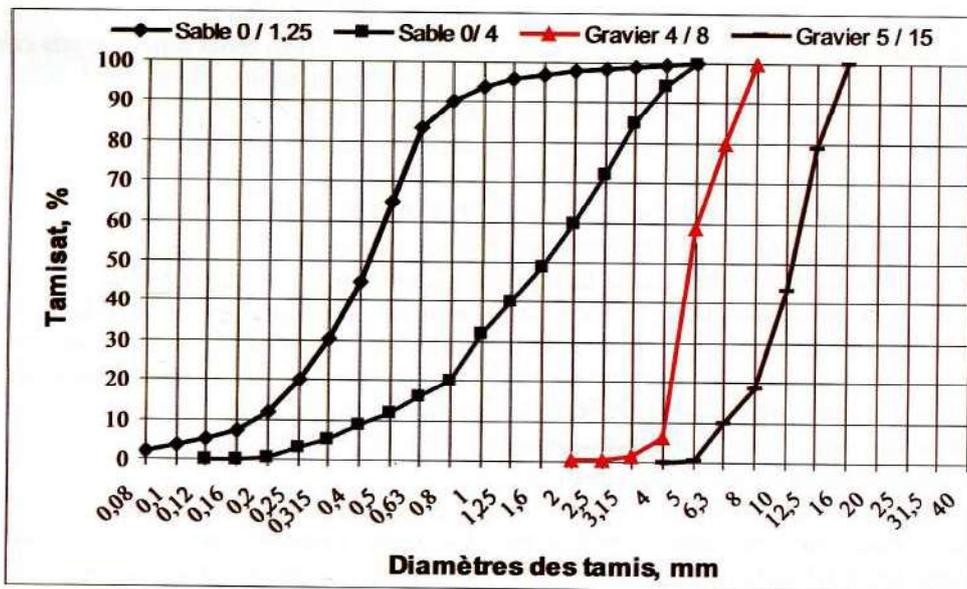


Figure 1 - Courbes granulométriques

2.4. Le superplastifiant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant à base de polycarboxylates modifiés, de masse volumique 1110 kg / m³, de pH = 5 ± 1, la teneur en ions chlore ≤ 0,1 %, la teneur en Na₂O Eq. ≤ 2,5 % et l'extrait sec = 36,4 ± 1,8 (%). La plage d'utilisation recommandée varie de 0,25 à 2,5 % du poids du liant

d'obstacles. La durée qui s'écoule entre le début du mouvement ascendant du cône et le moment où le béton atteint un diamètre de 500 mm est mesuré : c'est le T₅₀₀. Le plus grand diamètre d'étalement du béton et le diamètre perpendiculaire sont mesurés pour calculer le diamètre moyen (figure 2). Les valeurs préconisées par les normes sont données au tableau 3.

3. Méthodes expérimentales

Le gâchage des bétons et les essais de caractérisation ont été effectués selon les procédures décrites par l'AFGC [8] et les normes [9, 10 et 11].

3.1. Essais sur BAP à l'état frais

3.1.1. Essais d'étalement au cône d'Abrams (SF) et le T₅₀₀ [9]

L'essai d'étalement et le temps T₅₀₀ constituent un essai destiné à évaluer la mobilité et la vitesse d'écoulement du béton autoplaçant en l'absence

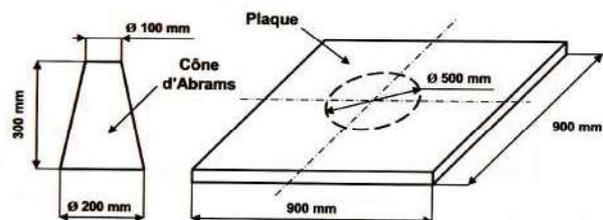


Figure 2 - Cône d'Abrams

Tableau 3 - Valeurs préconisées par les normes [14]

Essais	Étalement, (SF), mm	T ₅₀₀ seconde	Stabilité au tamis SR, %	Boîte en L PL = H ₁ /H ₂
Valeurs	550 - 650	< 2	≤ 20%	≥ 0,8 ^a
	650 - 750	≥ 2	≤ 15%	≥ 0,8 ^b
	750 - 850		-	-

3.1.2. Essai de stabilité au tamis [10]

L'essai de stabilité au tamis permet d'évaluer la résistance du béton autoplaçant à la ségrégation. Après prélèvement d'un échantillon de 10 litres de béton, il est mis au repos pendant 15 min. Il s'agit ensuite de déverser 4,8 ± 0,2 (kg) de l'échantillon sur un tamis d'ouverture 5 mm. Après 2 min d'attente, on détermine le pourcentage de laitance qui est passé au travers du tamis (figure 3). Les valeurs préconisées par les normes sont données au tableau 3.

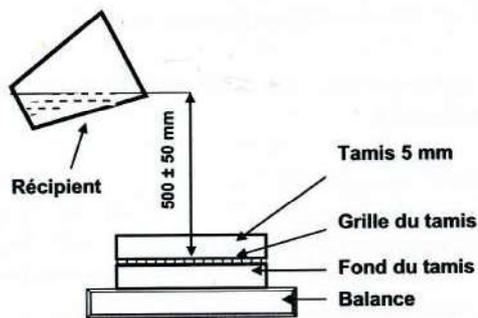


Figure 3 - Essai de stabilité au tamis

3.1.3. L'essai de boîte en L (L-Box) [11]

Cet essai permet d'évaluer l'aptitude à l'écoulement du béton autoplaçant au travers de zones confinées notamment les espaces entre les barres d'armature et autres inserts, sans aucune ségrégation ou aucun blocage (figure 4).

Un volume donné de béton frais s'écoule horizontalement à travers les espaces entre deux ou trois barres d'armature lisses verticales. Les hauteurs du niveau de béton dans la partie verticale (H₁) et à l'extrémité de la partie horizontale (H₂), sont mesurées et le rapport H₂/H₁ déterminé, constitue une mesure de la capacité d'écoulement ou de blocage du béton autoplaçant. Les valeurs préconisées par les normes sont données au tableau 3.

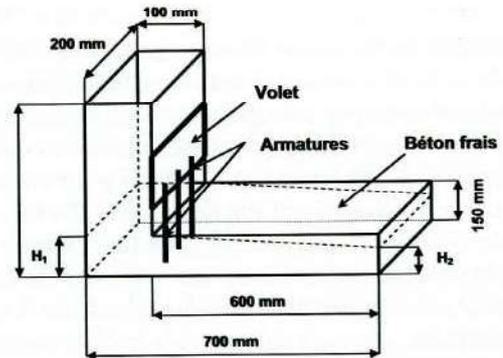


Figure 4 - Boîte en L pour essai de taux de remplissage

3.1.4. Essai à la boîte LCPC (LCPC Box) [13]

L'essai de la boîte LCPC permet d'évaluer le seuil de cisaillement (t) [13]. Cette méthode s'appuie sur la mesure de la longueur d'étalement L du BAP dans une boîte de longueur 120 cm. Après l'arrêt de l'écoulement, la longueur d'étalement mesurée dans la boîte permet de calculer le seuil de cisaillement du béton à partir de l'abaque montré sur la figure 5 :

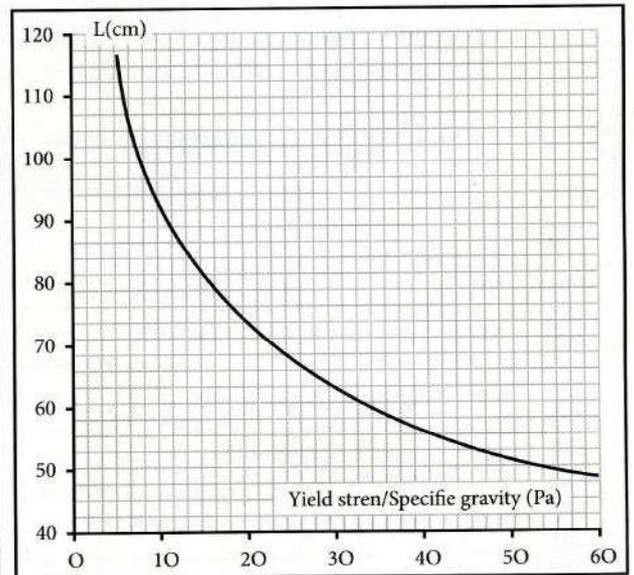


Figure 5 - Relation entre longueur d'étalement et seuil de cisaillement [13]

3.2. Caractérisation des bétons durcis

3.2.1 Résistance mécanique en compression

Afin de vérifier la résistance mécanique des BAP, des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ [15] ont été utilisées pour déterminer la résistance en compression à 7 et 28 jours. Les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage et conservées sous l'eau à la température ambiante.

3.2.2. Vérification de l'absence de ségrégation sur béton durci

Le contrôle de l'absence de ségrégation sur béton frais est utile et nécessaire, mais une validation sur béton durci constitue une garantie de la bonne qualité du BAP. A cet effet, l'essai a été conduit sur trois éprouvettes cylindriques (11 x 22) cm pour chaque BAP. Les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage et conservées sous l'eau. Après 28 jours de durcissement, les éprouvettes ont été retirées de l'eau et sciées dans l'axe longitudinal. L'observation des sections suivant le sens du coulage nous a renseigné sur la répartition des granulats dans la matrice cimentaire et sur la ségrégation.

3.3. Formulation des BAP

La plupart des formulations de BAP sont conçues actuellement de manière empirique [8, 16 et 17]. Cependant, on doit concilier deux caractéristiques à priori contradictoires : la fluidité et la ségrégation. A cet effet, un BAP de référence a été formulé sans aucune addition (BAP R) en s'appuyant sur les critères recommandés par l'AFGC [8] et en visant un diamètre d'étalement compris entre 600 et 750 mm [9] en relation avec le dosage à saturation en superplastifiant et le dosage en eau. Ces critères se résument au rapport Gravier/Sable qui doit être

proche de 1, au volume de la pâte qui doit être de 330 à 400 l / m³, au dosage en ciment qui se situe entre 300 et 350 kg / m³. Les bétons d'étude ont été ensuite formulés en introduisant les additions avec des dosages de 30, 45 et 60 (%) par rapport à la masse du ciment.

3.3.1. Paramètres de formulation des BAP

- résistance caractéristique en compression à 28 jours pour un béton d'ouvrage $f'_{c,28} = 30$ MPa
- dosage en ciment : $C = 350$ Kg/m³.
- dosage en superplastifiant : 2,2% par rapport à la masse du ciment déterminé de manière expérimentale à partir d'essais sur béton frais pour un diamètre d'étalement visé compris entre 600 et 750 mm en relation avec le dosage en eau. Le rapport E/C a été maintenu constant afin de mettre en évidence l'effet de la nature de l'addition sur les propriétés des BAP.
- composition du squelette granulaire : choisie de façon à garantir la continuité des courbes granulométriques, avec une limite du D_{max} à 15 mm et le rapport G/S proche de 1, afin de réduire la ségrégation et favoriser l'écoulement [8]

Les compositions des différents BAP sont données au tableau 4.

Tableau 4 – Compositions des bétons autoplaçants

BAP	Additions		ciment	Eau	SP	Gravier		Sable	Sable	E/C	E/L	G/S	Volume de pâte
						5/15	4/8	0/4	0/1,25				
Unités	%		kg/m ³							-	-	-	l/m ³
R	0	0	350	196	7,7	498	260	410	495	0,56	0,56	0,84	320
FC 30	30	105	350	196	7,7	475	248	391	473	0,56	0,43	0,84	379
FC 45	45	157,5	350	196	7,7	465	243	383	462	0,56	0,38	0,84	399
FC 60	60	210	350	196	7,7	455	238	375	452	0,56	0,35	0,84	359
FB 30	30	105	350	196	7,7	475	248	391	473	0,56	0,43	0,84	359
FB 45	45	157,5	350	196	7,7	465	243	383	462	0,56	0,38	0,84	379
FB 60	60	210	350	196	7,7	455	238	375	452	0,56	0,35	0,84	398

4. DISCUSSIONS DES RESULTATS OBTENUS SUR BETON FRAIS

4.1. Etalement (Slump flow, SF)

Les résultats obtenus et présentés sur la figure 7 montrent une diminution de l'étalement avec l'augmentation du dosage en addition. Cette tendance est surtout valable pour le filler de brique car l'écoulement des bétons est fonction du dosage et de l'état (inerte ou actif) des additions [18]. Pour le filler calcaire, on note une légère augmentation

de l'étalement pour un dosage de 30 % ce qui peut être expliqué par le fait que les particules fines de l'addition remplissent les vides disponibles entre les particules du mortier, augmentant ainsi la compacité du mélange en améliorant l'arrangement total des particules dans la matrice [19]. Par conséquent, la quantité d'eau qui occupait ces vides est libérée dans la solution interstitielle, ce qui se traduit par une meilleure fluidité. Cependant, au delà d'un dosage critique, la viscosité du mortier augmente avec l'ajout de l'addition. Au delà de ce

dosage, les frictions entre particules sont de plus en plus importantes. Ainsi, les fillers calcaire améliorent légèrement l'étalement, alors que le filler de brique entraîne une diminution de l'étalement. En effet, certaines additions à caractère pouzzolanique comme le laitier, la fumée de silice et le filler de brique ont une demande en eau importante par rapport au ciment, ce qui peut réduire les propriétés d'ouvrabilité du béton [20]. Quant aux additions réactives à caractère pouzzolanique, leur écoulement dépend de deux composantes: une composante physico-chimique liée au potentiel d'interaction entre les particules et de l'interaction des fines avec le liquide saturant, et une composante granulaire liée aux frottements des particules [21].

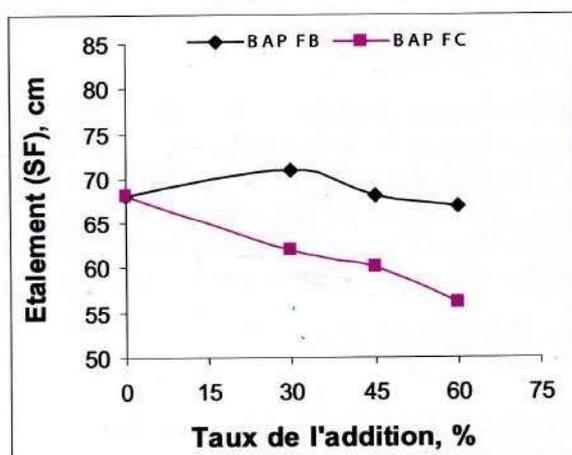


Figure 6 - Influence du dosage en addition sur l'étalement (Slump flow)

4.2. Stabilité au tamis (SR)

Tous les mélanges ont une résistance à la ségrégation exprimée par des valeurs de stabilité au tamis inférieures à la valeur limite préconisée par la norme EN 206 - 9 [14] (figure 7). Une analyse approfondie des résultats montre que le BAP R a la valeur de laitance la plus importante car son volume de pâte est le plus faible (320 l/m³). Les BAP avec addition sont plus riches en pâte, ce qui s'est traduit par une meilleure stabilité, d'où l'importance du volume de pâte et le rôle des additions pour limiter les risques de ségrégation et de ressuage. Cependant, l'augmentation du volume de pâte au-delà d'une certaine quantité peut entraîner une résistance à la ségrégation dite « trop importante », le mortier devient trop visqueux pour s'écouler à travers le tamis et peut causer une mauvaise qualité de parement.

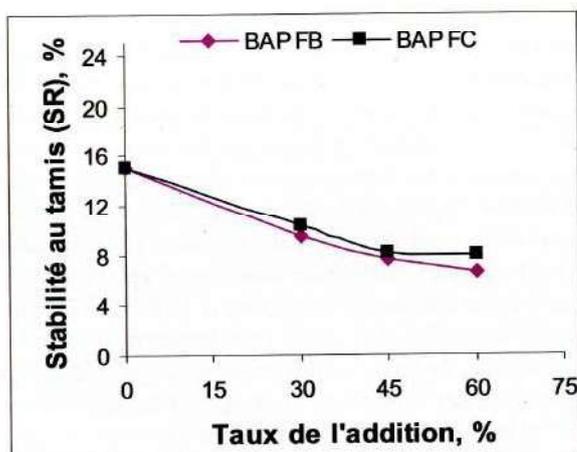


Figure 7 - Influence du dosage en addition sur la stabilité au tamis

4.3. Taux de remplissage à la boîte en L (PL)

Les résultats obtenus par l'essai L-Box, sont présentés sur la figure 8. Les BAP FC donnent des taux de remplissage qui s'inscrivent dans le domaine des BAP défini par la norme EN 206 - 9 [14]. Cette capacité d'écoulement en milieu confiné présente toutefois un optimum en relation avec le dosage en filler calcaire qui semble être établi à 30 (%). En effet, car au-delà de ce dosage on note plutôt une diminution du taux de remplissage mais qui s'inscrit dans le domaine normalisé. Les BAP FB donnent aussi un optimum de 30 % en relation avec le dosage en FB. D'ailleurs, c'est le seul mélange qui satisfait le critère défini par la norme. Avec l'augmentation du dosage en FB, on note une diminution rapide du taux de remplissage qui passe en dessous de la barre de 0,8. Il est établi que les additions améliorent le taux de remplissage mais à des dosages optimaux qui semblent dépendre de la nature de l'addition.

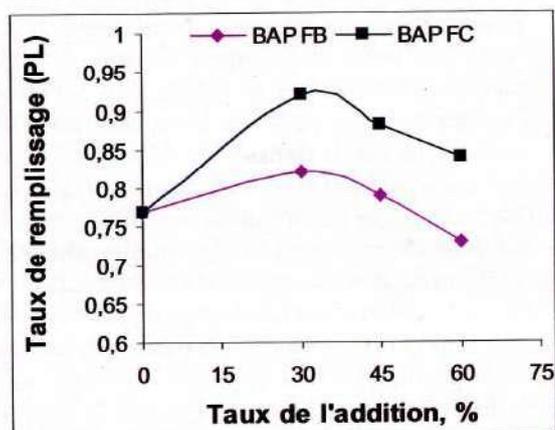


Figure 8 - Influence du dosage en addition sur le taux de remplissage

4.4. Étalement à la boîte LCPC (ET)

Cet essai permet de mesurer la longueur maximale d'étalement qui sert à déterminer la contrainte de cisaillement à l'aide de l'abaque présenté par la figure 5. Les résultats obtenus par cet essai montrent que l'étalement diminue avec l'augmentation des additions (figure 9). L'effet des additions sur l'étalement diffère selon le type d'addition : pour le filler calcaire la diminution de l'étalement est plus soutenue pour un dosage supérieur à 30 %. Le filler de brique a un effet densifiant plus accentué que le filler calcaire. La perte d'étalement pour un dosage de 30 % de filler de brique correspond pratiquement à la même diminution d'étalement provoquée par 60 % de filler calcaire. Les résultats obtenus corroborent globalement les résultats obtenus par l'essai de l'étalement au cône d'Abrams.

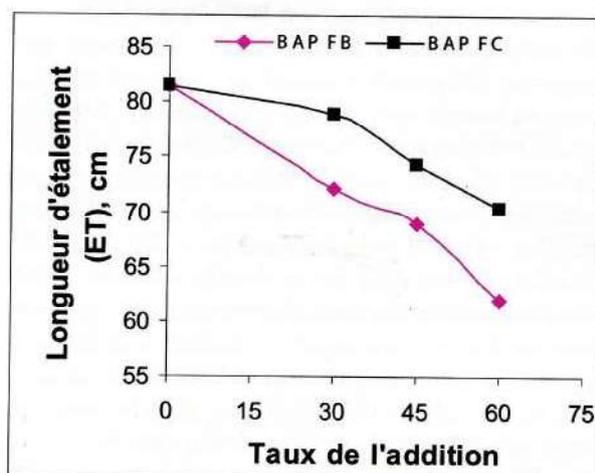


Figure 9 - Influence du dosage en addition sur la longueur d'étalement (boîte LCPC)

4.5 Seuil d'écoulement (τ)

La boîte LCPC a été utilisée [13] pour évaluer le seuil de cisaillement (τ). Cette méthode s'appuie sur la mesure de la longueur d'étalement L du BAP dans une boîte de longueur 120 cm. À l'aide de l'abaque présentée par la figure 5 en fonction de la longueur L , on peut lire le rapport du seuil de cisaillement sur la densité du béton (τ / ρ) et déduire analytiquement la valeur numérique du seuil d'écoulement. Les résultats obtenus présentés sur la figure 10, montrent l'augmentation du seuil de cisaillement avec l'augmentation du dosage en filler, en particulier pour un dosage de 60 % de FB. Les additions communiquent à la pâte une viscosité suffisante permettant aux granulats de nager sans risque de ségrégation. Il ne faut pas que le seuil de cisaillement dépasse une certaine limite qui pourrait se traduire par une résistance à la ségrégation comme pour le BAP FB qui n'a pas assuré le taux de remplissage préconisé par la norme à cause du blocage du mélange par raidissement de la pâte.

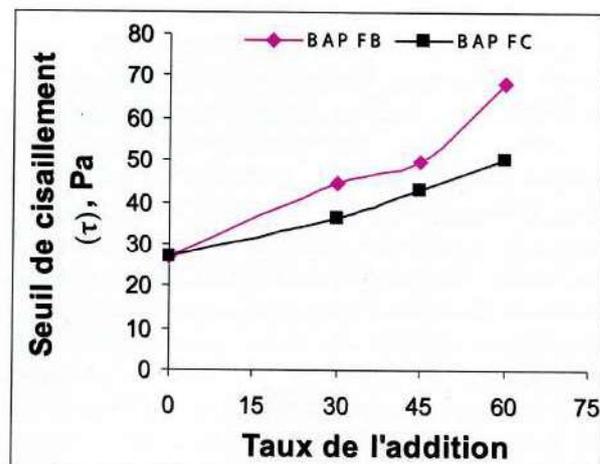


Figure 10 - Effet des additions sur le seuil de cisaillement

4.6. Viscosité plastique (μ) et temps d'étalement de 500 mm (T_{500})

Les corrélations rhéologie - ouvrabilité les plus pertinentes sont celles reliant la viscosité plastique au T_{500} . En effet, Kurokawa et al. [12] ont mis en évidence une relation (1) qui souligne la corrélation entre la viscosité et le temps d'étalement T_{500} confirmée par ailleurs par d'autres auteurs [22- 23]

$$\mu = \frac{\rho}{1000} 0,0268 SF - 2,39 T_{500} \quad (1)$$

μ : viscosité plastique du matériau en (Pa.s),

ρ : masse volumique du béton (Kg/m³),

SF : étalement en (mm)

T_{500} : temps que met la galette à atteindre un diamètre de 500 mm (seconde).

L'écoulement d'un BAP à faible viscosité est très rapide au départ puis s'interrompt. Un BAP à grande viscosité continuera à s'étaler lentement pendant une durée plus longue. Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 500 mm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Tous les mélanges donnent des valeurs de T_{500} entre 2 et 4 (secondes) (figure 11). La norme EN 206 - 9 [14], classe les BAP selon le T_{500} en deux classes sans prescription de valeurs limites, alors que la norme EN 12350 - 8 [9] donne des plages de répétabilité et de reproductibilité des valeurs de T_{500} entre 0 et 6 secondes. Le BAP FB 60 donne un T_{500} d'environ 12 secondes, largement supérieur aux valeurs indiquées par la norme EN 12350 - 8 [9]. En effet la viscosité est directement liée au T_{500} . On note qu'avec l'augmentation du dosage en addition, donc du volume de pâte, il y a augmentation du T_{500} . Ce qui traduit une vitesse de déformation relativement lente, ainsi que l'augmentation de la viscosité [2] (figure 12) corroborant de ce fait les résultats obtenus du seuil de cisaillement par la méthode LCPC.

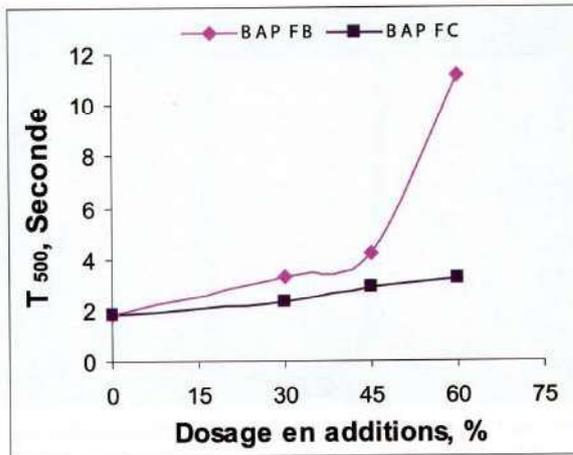


Figure 11 - Effet des additions sur le T_{500} des BAP

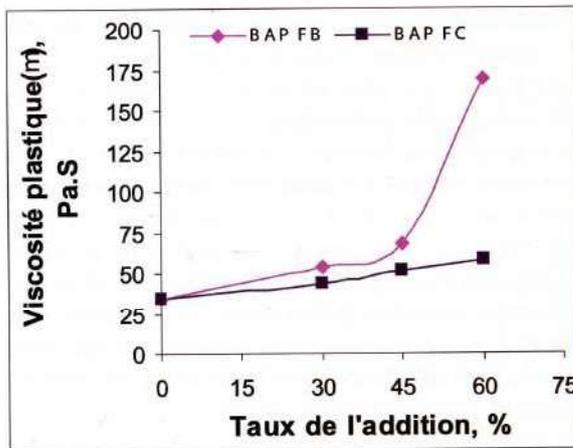


Figure 12 - Effet des additions sur la viscosité plastique des BAP

5. DISCUSSIONS DES RÉSULTATS OBTENUS SUR BÉTON DURCI

5.1. Résistance mécanique sur béton durci (sc)

Les bétons autoplaçants présentent souvent une résistance mécanique plus élevée qu'un béton ordinaire à un rapport E/C équivalent [24]. L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et améliore les résistances mécaniques des bétons [25] au jeune âge par effet physique principalement et par effet pouzzolanique lorsqu'elles sont chimiquement actives, à plus longues échéances [26]. Cette amélioration des résistances dépend de la nature, de la finesse et du dosage de l'addition. Les résultats obtenus et présentés sur les figures 13,14 et 15 sont conformes aux références bibliographiques citées dans ce paragraphe.

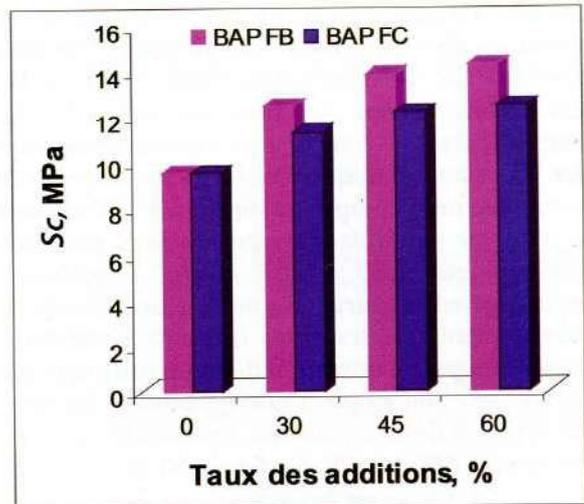


Figure 13 - Effet des additions sur la résistance en compression des BAP à 2 jours

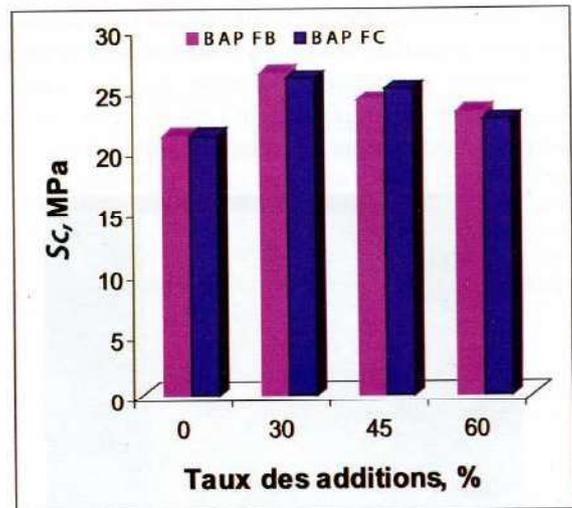


Figure 14 - Effet des additions sur la résistance en compression des BAP à 7 jours

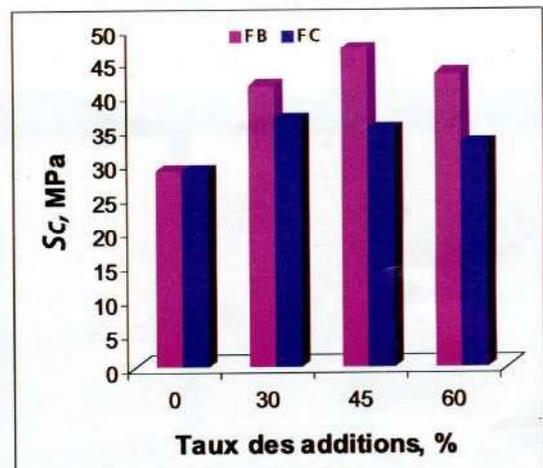


Figure 15 - Effet des additions sur la résistance en compression des BAP à 28 jours

Les BAP FB garantissent les meilleures résistances à tous les âges : à court terme (2 jours), par effet physique (de remplissage) essentiellement, les fillers de brique sont plus fines que celles du calcaire. A moyen et long termes vraisemblablement par effet pouzzolanique. Les fillers de brique sont essentiellement composées de silice (> 70%) dont le pouvoir pouzzolanique est amélioré par une grande finesse ($SSB > 12000 \text{ cm}^2/\text{g}$). L'optimum du dosage en FB varie en fonction de la durée de mûrissement, car les effets influents s'inscrivent dans le temps notamment l'effet pouzzolanique qui prend toute son ampleur à longs termes. En effet, les BAP FB développent des résistances en compression à 28 jours de l'ordre de 50 MPa notamment pour un dosage de 45 %.

5.2. Vérification de l'absence de ségrégation

L'observation des sections des éprouvettes de tous les bétons présentées par les photos 1, 2 et 3 montre une répartition régulière du squelette granulaire. Les gros granulats sont bien répartis dans la masse du mortier sur toute la hauteur des éprouvettes. Aucun signe de ségrégation n'a été observé, conformément aux résultats obtenus sur béton frais.

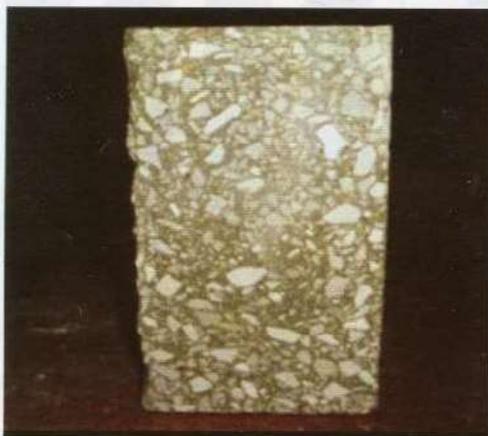


Photo 1 - Observation de la répartition des granulats du BAP

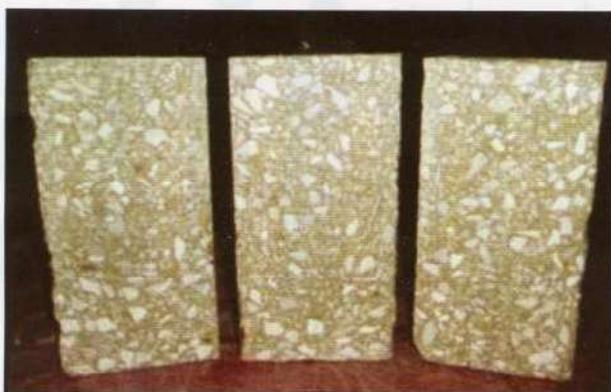


Photo 2 - Observation de la répartition des granulats des BAP FC (30,45 et 60%) de gauche à droite

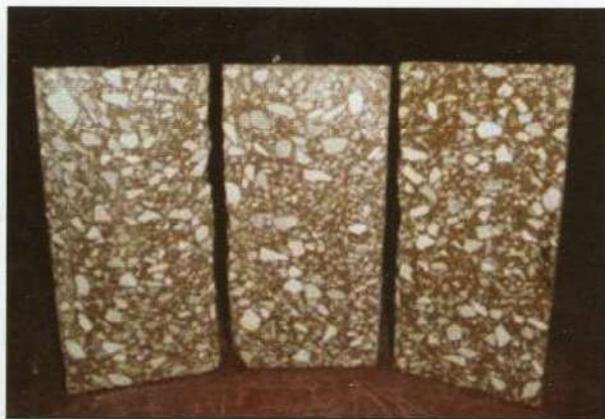


Photo 3 - Observation de la répartition des granulats des BAP FB (30,45 et 60%), de gauche à droite

6. CONCLUSION

L'étalement des BAP peut être obtenu par l'emploi de superplastifiant comme nous l'avons vu avec le BAP R alors que pour atteindre un niveau de viscosité convenable permettant de diminuer le risque de ségrégation, l'emploi d'additions fines est parfaitement justifié. Le caractère inerte ou réactif de l'addition peut avoir des effets aussi bien sur le béton frais, par l'amélioration de la fluidité et l'élimination des risques de ségrégation en relation avec le dosage, que sur le béton durci par l'augmentation des résistances mécaniques. Les dosages optimaux en addition diffèrent d'une addition à une autre et diffèrent pour une même addition en relation avec les critères préconisés par les normes et les paramètres rhéologiques des BAP à l'état frais ou par rapport à la résistance des BAP à l'état durci. Pour les fillers calcaire, le dosage optimal sur BAP à l'état frais se situe entre 30 et 60 %, alors que par rapport à la résistance du béton durci, le dosage optimal est de 30%. Pour les BAP FB le dosage optimal en FB par rapport au béton frais est de 30 %, alors que par rapport à la résistance en compression du béton durci il est de 45%.

Les dosages optimaux des additions, par rapport à l'objectif recherché qui consiste en l'obtention d'un béton à caractère autoplaçant dont la résistance mécanique est garantie, doivent être conformes aux résultats et recommandations issus de l'étude menée sur les bétons à l'état frais. Cependant, dans chaque cas pratique un compromis entre les propriétés recherchées du béton à l'état frais et la résistance mécanique nécessaire du béton à l'état durci pourrait être trouvée en spécifiant le dosage et la nature de l'addition à employer.

Si le filler calcaire est traditionnellement utilisé dans les BAP, la poudre de gravats de maçonnerie de brique d'argile cuite pourrait constituer un substituant intéressant et ouvrir une alternative de valorisation de ces déchets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bethmont S., « Mécanismes de ségrégation dans les BAP: Etude expérimentale des interactions granulaires », Thèse de Doctorat de l'ENPC, 2005, p 159
- [2] Nehdi M et Rahman.M., « Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement - based materials, [Pourquoi les fillers calcaire en dispersion dans le ciment entraîne une augmentation rapide de la viscosité] CCR, 30[10], 2000, pp 1663-1669.
- [3] EL Barak M., « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des BAP à l'état frais », thèse de doctorat, Université Toulouse III, 2005, p 228
- [4] Billberg P., « Fine mortar rheology in mix design of SCC » [Rhéologie des mortiers fins dans la conception des mélanges de béton autoplaçant], Proceeding of 1st Inter Rilem Conference on SCC, Cachan, 1999, pp. 47-58
- [5] Nehdi M., Mindess S. et Aïtcin P.C., « Rheology of high-performance concrete: Effect of ultra-fine particles », [Rhéologie des bétons à haute performance: Effet des particules ultra-fines], Cem Concr Res, 28, [5], 1998, pp. 687- 697.
- [6] Cyr M., « Contribution à la caractérisation des fines minérales et à la compréhension de leur rôle joué dans le comportement rhéologique des matrices cimentaires », thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse en cotutelle avec l'université de Sherbrooke, 1999, p 273
- [7] Zhang X., Han J., « The effect of ultra-fine admixture on the rheological property of cement paste », [l'effet des ultrafines sur les propriétés rhéologiques de la pâte de ciment], CCR, 30 [5], 2000, pp 827- 830.
- [8] AFGC (Association Française de Génie Civil), « les BAP: recommandations provisoires », 2008, p. 6
- [9] EN 12350 - 8, Essai pour béton frais, Partie : Béton autoplaçant – essai d'étalement au cône d'Abrams, Novembre 2010, p.7
- [10] EN 12350 – 10, Essai pour béton frais, Partie : Béton autoplaçant – essai de stabilité au tamis, Novembre 2010, p.9
- [11] EN 12350 – 11, Essai pour béton frais, Partie : Béton autoplaçant – essai à la boîte en L, Novembre 2010, p.7
- [12] Kurokawa Y., Tanigawa Y, Mori. H et Komura.R., « A Study on the Slump Test and Slump-Flow Test of Fresh Concrete » [Etude sur le test d'affaissement et le test d'étalement du béton frais], Transactions of the Japan Concrete Institute, volume 16, 1994, pp 25- 32.
- [15] EN 12390 – 2, Essai pour béton durci, Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules
- [16] Okamura H., Ouchi M., « Self-Compacting Concrete », [Les bétons autoplaçants], Journal of ACT, vol. 1[1], 2003, pp 5-15.
- [17] Su N., Hsu K.C. et Chai H.W., « A simple mix-design method for SCC » [Une méthode simple pour la conception des bétons autoplaçants], CCR, vol. 31, (12), 2001, pp 1799-1807.
- [18] Cyr M., « Contribution à la caractérisation des fines minérales et à la compréhension de leur rôle joué dans le comportement rhéologique des matrices cimentaires », thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse en cotutelle avec l'université de Sherbrooke, 1999, p 273
- [19] Yahia A., Tanimura M et Shimoyama Y., « Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler : effect of powder content and W/C ratio » [Les propriétés rhéologiques du mortier très fluide contenant du filler calcaire: effet de la teneur en poudre et du rapport E / C], CCR, 35 [3], 2005, pp. 532-539.
- [20] Cyr M., Mouret M., « Rheological characterization of superplasticized cement pastes containing mineral admixtures : Consequences on SCC design » [Caractérisation rhéologique des pâtes de ciment contenant des additifs minéraux superplastifiés : Conséquences sur la conception des BAP], Proceedings of the Seventh CAN-MET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Berlin, Allemagne, 2003, pp. 241-255.
- [21] Toutou Z., « Rhéologie et formulation des géo-suspensions concentrées : évaluation des conditions d'extrudabilité », thèse de doctorat de INSA- Rennes, 2002, p. 221.
- [22] Emborg, « Rheology tests for SCC-How useful are they for the design of concrete mix for full-scale production » [Essais de rhéologie pour les BAP : Comment sont-ils utiles pour la conception de béton pour la production à grande échelle], Proceedings of the 1st inter Rilem Conf, Stockholm, pp 95-105.
- [23] Grünewald S et Walraven J.C., « Rheological measurements on self-compacting fibre reinforced concrete » [Les mesures rhéologiques sur les BAP fibrés], Proceedings of the Third International Symposium on SCC, Reykjavik, Islande, 2003, pp. 49-58,.
- [24] Assié S, « Durabilité des bétons autoplaçants », Thèse de doctorat, INSA-Toulouse, 2004, ,p 249.
- [25] Billberg P., « influence of filler characteristics on SCC rheology and early hydration » [Influence des caractéristiques du filler sur la rhéologie des BAP et l'hy-