
Soumis le : 04/04/2016

Forme révisée acceptée le : 24/09/2017

Auteur correspondant : omataleb@yahoo.fr

Effet du dosage en superplastifiant sur les caractéristiques rhéologiques des bétons autoplaçants

TALEB Omar^{a,*}, GHOMARI Fouad^a, BOUKLI HACENE Mohamed Amine^a, KADRI El-Hadj^b, SOUALHI Hamza^b

^aLaboratoire EOLE, Université de Tlemcen, Algérie

^bLaboratoire L2MGC, Université de Cergy Pontoise, France

Résumé

L'utilisation des superplastifiants dans les bétons autoplaçants (BAP) est indispensable pour garantir la fluidité recherchée. A travers ce travail expérimental, nous visons à étudier l'effet du dosage en superplastifiant sur les caractéristiques des bétons autoplaçants (BAP). Les propriétés rhéologiques des mélanges sont étudiées au moyen d'un rhéomètre de forte capacité de couple muni d'une géométrie couette. En complément, les essais de la norme NF 206/CN ont été réalisés afin d'établir une comparaison avec les essais sur rhéomètre. Les résultats ont montré que les superplastifiants améliorent l'ouvrabilité des BAP en diminuant significativement les seuils de cisaillement statiques et dynamiques. Cependant, leur effet sur la viscosité plastique dépend fortement du dosage utilisé. Par ailleurs l'augmentation du dosage en superplastifiant s'accompagne toujours par une diminution de la stabilité du mélange, ce qui peut engendrer des pertes dans la résistance mécanique.

Mots-clés : Béton autoplaçants, rhéologie, superplastifiant, seuil de cisaillement, viscosité.

Abstract

The use of superplasticizers in self-consolidating concretes (SCC) is essential to ensure the desired fluidity. Through this experimental work, we aim to study the effect of the superplasticizer dosage on the characteristics of SCC. The rheological properties of the mixtures are studied by means of a high torque rheometer with couette geometry. In addition, tests of EN NF 206 / CN standard were achieved to make a comparison with rheometer tests. The results showed that superplasticizers improve the workability of SCC by significantly decreasing the static and dynamic shear thresholds. However, their effect on the plastic viscosity depends strongly on the dosage used. Moreover, the increase in the superplasticizer dosage is always accompanied by a decrease in the stability of the mixture, which can lead to losses in mechanical strength.

Keywords: Self compacting concrete, rheology, superplasticizer, yield stress, viscosity.

1. Introduction

L'évolution de la science dans le domaine de la chimie des adjuvants, a permis, au cours de ces dernières décennies, le développement d'une nouvelle génération de béton. Les performances mécaniques, physiques et esthétiques sont sans cesse développées, s'adaptant ainsi aux exigences de la mise en place. Les recherches scientifiques concernant les mécanismes de défloculation du ciment par des additions organiques ont permis d'améliorer la rhéologie des bétons à l'état frais donnant naissance aux bétons autoplaçants. Les BAP se

distinguent par leurs propriétés à l'état frais. Ils se caractérisent par leur fluidité exceptionnelle grâce aux superplastifiants [1], par leur stabilité vis-à-vis de la ségrégation et du ressuage grâce aux agents de viscosités [2, 3] et l'emploi des additions minérales [4, 5], ainsi que par leur capacité de passage même dans des pièces fortement ferraiillées grâce à la quantité optimisée du liant et une distribution granulaire améliorée [6].

Les superplastifiants permettent la fluidification d'un béton en dispersant les particules du ciment et d'addition. Les molécules de superplastifiant se fixent par adsorption sur l'interface entre les grains du liant et l'eau de gâchage

[7]. Une fois adsorbés, les superplastifiants agissent par répulsion électrostatique qui peut être combinée à un effet stérique [8, 9].

Sur le plan rhéologique, plusieurs auteurs [10, 11] ont trouvé que l'utilisation des superplastifiants réducteurs d'eau tend à réduire le seuil de cisaillement, cependant l'effet est moins prononcé sur la viscosité plastique [12, 13]. A ce sujet, Mork [14] a constaté une légère augmentation de la viscosité plastique, alors que d'autres ont abouti à la conclusion que l'utilisation des superplastifiants réduit la viscosité du mélange [3, 15].

Par ailleurs, d'autres recherches ont montré que l'effet du superplastifiant sur la viscosité plastique est surtout fonction du type et du dosage en superplastifiant [16, 17]. Ainsi, Cyr *et al.* [18] ont trouvé que l'effet des polycarboxylates est moins important pour réduire la viscosité plastique par rapport aux superplastifiants à base de sulfonates. Ces différences deviennent plus prononcées pour de faibles rapports¹ E/C [19]. D'autres auteurs ont estimé que l'influence du superplastifiant dépend aussi du taux de certains composants du mélange comme le sable. Pour de faible dosage en sable, le ciment floculé joue le rôle du sable en séparant les graviers, évitant ainsi les frictions entre eux. En utilisant des superplastifiants, la défloculation des grains de ciment ne permet plus d'assurer ce rôle, ce qui amène à une élévation de la viscosité du béton et une diminution de celle de la pâte. Par contre, pour des mélanges avec des taux élevés en sable, ce dernier permet d'éloigner les graviers entre eux.

Dans ce cas, la diminution de la viscosité de la pâte engendrée par les superplastifiants entraînera automatiquement la baisse de la viscosité du béton [16]. Par ailleurs, des dosages excessifs en superplastifiants peuvent facilement causer des problèmes de ségrégation [20]. Il est donc nécessaire de surveiller soigneusement l'ouvrabilité des BAP pour assurer une meilleure utilisation. Cependant les essais recommandés pour les BAP [21] sont insuffisants pour déterminer correctement les grandeurs rhéologiques.

Face à cette problématique, des essais rhéologiques plus précis [22, 23] sont inévitables pour estimer le seuil de cisaillement statique qui intervient dans les problèmes de pompage ; et du seuil de cisaillement dynamique qui peut être à l'origine de l'arrêt de l'écoulement dans les coffrages ; ainsi que de la viscosité plastique qui régit les frottements dans le mélange.

Cette étude vise à mettre en évidence l'effet du dosage d'un superplastifiant largement utilisé dans le secteur du BTP² sur les caractéristiques des bétons autoplaçants tout en identifiant les paramètres rhéologiques fondamentaux.

2. Matériaux utilisés

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CEM.II/A 42,5 en provenance de la cimenterie de Béni-Saf. Ce ciment est composé de 85% de clinker ; 3% de gypse et 12% de pouzzolane avec une masse volumique absolue de 3030 kg/m³ et une surface spécifique de 3650cm²/g. Les fillers calcaires utilisés, dont la masse volumique absolue est de 2700 kg/m³ proviennent de la carrière d'El Maleh de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG). Ils se caractérisent par une surface spécifique de 5122 cm²/g. La roche mère est de nature calcaire dolomitique.

Les granulats utilisés proviennent de la carrière de Sidi Abdelli, propriété de l'ENG. Les caractéristiques des granulats, nécessaires pour notre étude, sont présentées dans le tableau 1. L'adjuvant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau, de deuxième génération à base de polynaphtalène sulfonate (PNS) avec effet retardateur spécialement formulé pour le béton prêt à l'emploi. Il est désigné sous l'appellation « TEK-superflow 2000 R » (SP). Il est commercialisé par le groupe des sociétés HASNAOUI (Sidi Bel Abbes-Algérie). Il est composé de 35% d'extrait sec et présente une densité de 1,2.

¹ E/C : Rapport Eau/Ciment

² BTP : Bâtiment et travaux publics

Tableau 1
Caractéristiques physiques des granulats.

Désignation	M_V apparente (Kg/m ³) (NA 255)	M_V absolue (Kg/m ³) (NA 255)	Module de finesse	Absorption d'eau (%) (NF P 18-555 NF P 18-554)	Taux en fines (%) (NA 5128)
Gravier (8/16)	1 350	2 600	-	0,5	-
Gravier (4/8)	1 350	2 660	-	1,3	-
Sable (0/4)	1 560	2 580	3,08	1,6	12,39

Tableau 2 :
Formulation des bétons étudiés.

Mélange N°	Ciment (Kg)	Fillers (Kg)	Sable (Kg)	G4/8 (Kg)	G8/16 (Kg)	Eau (Litres)	Sp (%)
1	350	95	825	275	550	220	1,4
2	350	95	825	275	550	220	1,5
3	350	95	825	275	550	220	1,6
4	350	95	825	275	550	220	1,7

3. Formulation des bétons autoplaçants

Afin d'étudier l'influence du superplastifiant sur les caractéristiques rhéologiques des bétons autoplaçants, quatre bétons ont été confectionnés en fixant la teneur de l'ensemble des composant et en variant uniquement le dosage de l'adjuvant dans la fourchette recommandée par le fournisseur (entre 1,4% et 1,7% par rapport à la masse du liant). La confection des corps d'essais a été réalisée avec un squelette granulaire ayant un (G/S = 1)³. Les formulations sont présentées sur le tableau 2.

4. Démarches méthodologiques et expérimentales

4.1. Essai de caractérisation des BAP selon les normes

Les bétons formulés ont été testés par les différents essais établis selon la norme EN 206-9 et qui permettent de caractériser les propriétés du BAP à l'état frais. Pour chaque béton nous avons réalisé l'essai d'étalement au cône d'Abrams, l'essai de la boîte en L et l'essai de stabilité au tamis. En parallèle, des éprouvettes cylindriques (11×22) cm ont été confectionnées et maturées à l'eau pour les essais de compression. Le choix de l'utilisation de ces moules est justifié par le fait que le diamètre maximal des granulats est égale à 16 mm (NF P 18-400).

4.2. Essais rhéologiques

La caractérisation rhéologique des bétons est effectuée avec un rhéomètre coaxial de type Vane. L'appareil consiste en d'un agitateur de marque Heidolph (Figure 1) piloté par un logiciel informatique désigné sous le nom « Watch and control ». Le récipient ayant un diamètre de 30 cm et une hauteur de 25 cm est équipé de baguettes fixées aux parois et parallèles à l'axe de l'agitateur, afin de permettre de réduire le risque de glissement du mélange aux parois. Une pale en forme de double U inversée de 5.25 cm de rayon et 15 cm de hauteur est utilisée. Elle est immergée dans le mélange jusqu'à être placée à niveau avec la couche supérieure du béton ; elle repose ainsi sur une couche en béton de 10 cm d'épaisseur (Figure 2). L'utilisation de la pale est recommandée car elle engendre une perturbation minimale, ce qui peut être avantageux pour les matériaux thixotropes comme les bétons autoplaçants [16].

Le principe de l'essai avec cet agitateur consiste à mettre en rotation, à différentes vitesses, la pale dans un échantillon de béton frais et de mesurer le couple appliqué.

³ G/S : Rapport Gravier / Sable



Figure 1 : illustration de l'agitateur

4.3. Mesure du seuil de cisaillement statique

Le seuil de cisaillement statique est mesuré sur des bétons laissés au repos pendant 5 minutes. Pour ce faire, on applique une vitesse de rotation constante de 2 rpm (0,03 rps) à la palette immergée dans le béton frais. Le couple résultant est mesuré en fonction du temps.

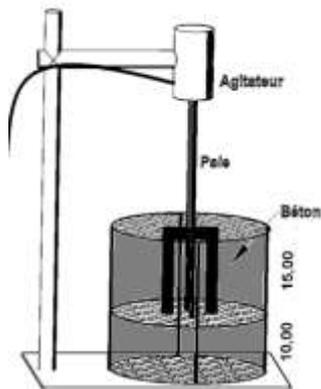


Figure 2 : Mise en place de la pale dans le mélange

Le couple augmente jusqu'à ce que la contrainte de cisaillement appliquée dépasse la résistance créée par le béton. Le profil de la figure 3 montre une région quasi-élastique linéaire jusqu'à une valeur maximale (M_{max}) qui indique que la structure du béton est totalement détruite au niveau de la surface de cisaillement, déclenchant ainsi son écoulement.

L'acquisition des données fournit des résultats bruts. La contrainte statique est déterminée par l'équation suivante [24] :

$$\tau_s = \frac{M_{max}}{2 \pi R_b^2 h + \pi R_b^3} \quad (1)$$

où M_{max} (N.m) est le couple maximale appliquée, R_b et h désignent respectivement le rayon et la hauteur de la pale.

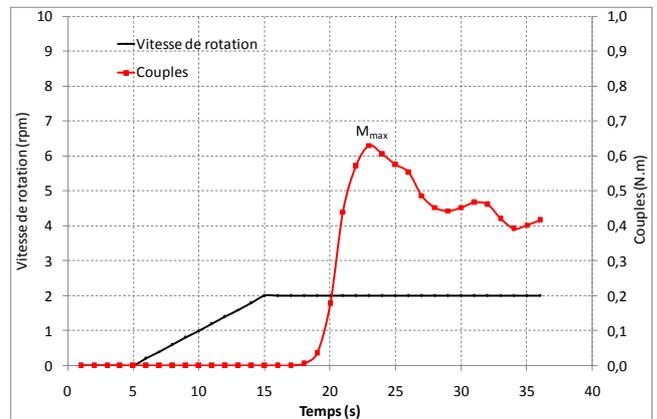


Figure 3 : Évolution du couple en fonction du temps d'application pour une vitesse de rotation de 2 rpm

4.4. Mesure du seuil de cisaillement dynamique et de la viscosité plastique

Les bétons sont caractérisés en régime d'écoulement permanent. Le profil de vitesse choisi permet d'avoir les mesures les plus stables tout en minimisant le phénomène de ségrégation [22]. Il est composé de 7 paliers de 20 s à des vitesses de rotation allant de 48 rpm (0,8 rps) à 4 rpm (0,07 rps), précédés d'un palier de 110 secondes de pré-cisaillement à la vitesse maximale de 48 rpm pour s'affranchir des propriétés dépendantes du temps comme la thixotropie et pour tester le matériau dans un état suffisamment déstructuré. Pour chaque palier de vitesse, 20 mesures du couple sont effectuées. Un dernier palier de 20 secondes à une vitesse de 24 rpm (0,4 rps) a été ajouté afin de comparer entre le couple moyen mesuré à 24 rpm (0,4 rps) dans la phase des vitesses décroissantes et celui mesuré au cours du palier final afin d'estimer le phénomène de ségrégation (Figure 4).

Pour chaque vitesse imposée, le régime d'écoulement permanent est atteint lorsque le couple est stable. Généralement, la moyenne des dix dernières mesures du couple à chaque vitesse est représentative du régime permanent. Pour ces raisons, toutes les secondes le logiciel de pilotage de l'agitateur enregistre le couple de rotation (M) correspondant à la vitesse de rotation (Ω) imposée. Le résultat brut de l'essai réalisé se présente sous la forme suivante :

$$M = M_0 + k \cdot \Omega \quad (2)$$

où M (N.m) est le couple total appliqué sur le béton, M_0 (N.m) est le couple à l'origine, k (N.m.s) est un coefficient de régression linéaire et Ω (rad/s) est la vitesse angulaire de rotation de la pale.

Les couples finaux s'obtiennent par la différence entre les couples totaux et les couples à vides correspondant à

chaque palier de vitesse : $M = M_{total} - M_{vide}$, où M_{total} est le couple nécessaire pour cisailier le béton en considérant la pale, et M_{vide} le couple nécessaire pour faire tourner uniquement la pale dans le vide.

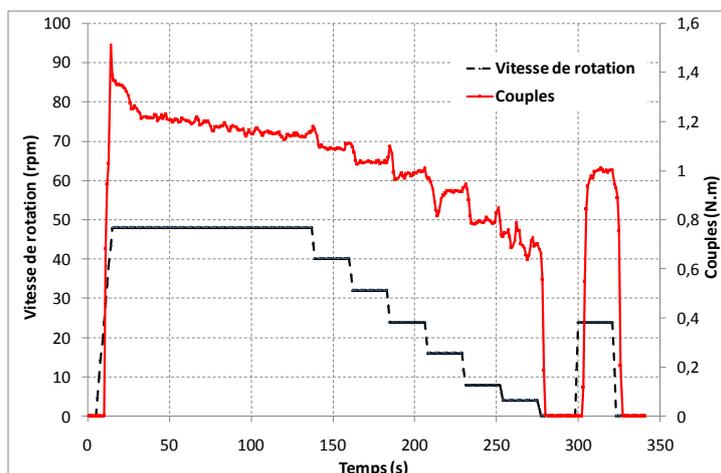


Figure 4 : Profil de vitesse utilisé

4.5. Exploitation des résultats bruts du rhéomètre

La démarche développée par Lanos et Estellé [23] est utilisée pour l'exploitation des résultats et la détermination des paramètres rhéologiques recherchés à partir des résultats bruts fournis par l'appareil. Les équations (3) et (4) expriment respectivement la vitesse de cisaillement lorsque le fluide est partiellement cisailé et complètement cisailé dans l'entrefer [25, 26].

$$\dot{\gamma}_1 = 2M \frac{d\Omega}{dM} \tag{3}$$

$$\dot{\gamma}_2 = 2 \cdot \frac{M \cdot \frac{d\Omega}{dM}}{\left(1 - \frac{R_b^2}{R_c^2}\right)} - \frac{\Omega - M \cdot \frac{d\Omega}{dM}}{\ln\left(\frac{R_b}{R_c}\right)} \tag{4}$$

R_b et h désignent le rayon et la hauteur de la pale et R_c le rayon du récipient, Ω et M représentent respectivement la vitesse de rotation et le couple correspondant.

La valeur appropriée du taux de cisaillement est celle qui maximise la dissipation d'énergie dans l'échantillon en écoulement. Cette valeur est déterminée par la formule suivante [26] :

$$\dot{\gamma} = \max(\dot{\gamma}_1 ; \dot{\gamma}_2) \tag{5}$$

avec :

$$\frac{d\Omega_j}{dM_j} \cong \frac{\Omega_{j+1} - \Omega_{j-1}}{M_{j+1} - M_{j-1}} ; i = j \text{ et } j = 1 \dots n \tag{6}$$

Ainsi la contrainte correspondante à la vitesse de rotation Ω_i s'obtient selon les équations :

$$\tau_i = \frac{1}{2} (\tau_{j-1} + \tau_{j+1}) \tag{7}$$

avec :

$$\tau_j(M) = \frac{M_j}{2 \pi h R_b^2} \tag{8}$$

Les équations (5) et (7) permettent de passer du couple ($M_i - \Omega_i$) au couple ($\tau_i, \dot{\gamma}_i$). La courbe ($\tau_i, \dot{\gamma}_i$) obtenue permet d'estimer la viscosité par la pente de la droite et le seuil de cisaillement du BAP par la contrainte correspondant à une vitesse nulle.

5. Résultats et discussions

Les résultats présentés sur la figure 5 confirment la règle que l'augmentation du dosage en superplastifiant s'accompagne toujours par une amélioration de

l'ouvrabilité, en raison d'une meilleure défloculation des grains du liant empêchant ainsi la formation des

conglomérats, ce qui conduit à un taux de remplissage plus important au niveau de la boîte en L.

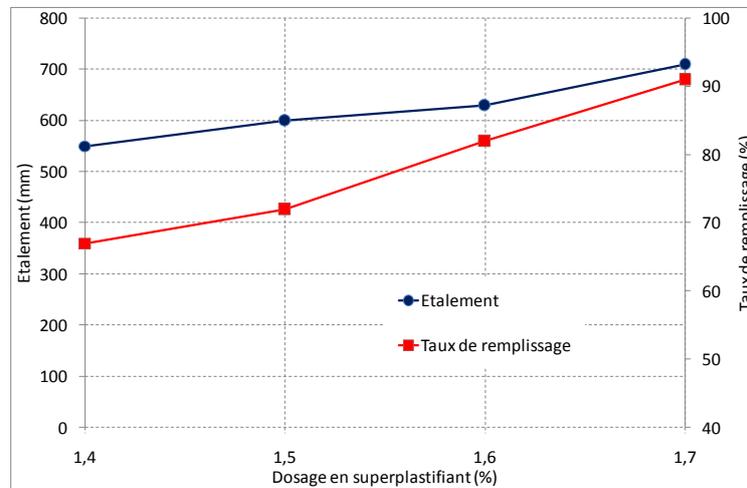


Figure 5 : Étalement et taux de remplissage en fonction du dosage en superplastifiant

Par contre, la stabilité doit être rigoureusement surveillée lorsqu'on augmente le dosage en superplastifiant (Figure 6). En effet, l'utilisation de ces additions organiques a tendance à libérer l'eau piégée dans les amas formés par les grains de ciment et les additions, et qui peut facilement créer des problèmes de stabilité et de ressuage [2]. C'est la raison pour laquelle l'augmentation du dosage de superplastifiants doit toujours s'accompagner par une réduction du rapport E/L^4 .

⁴ E/L : Eau / Liant

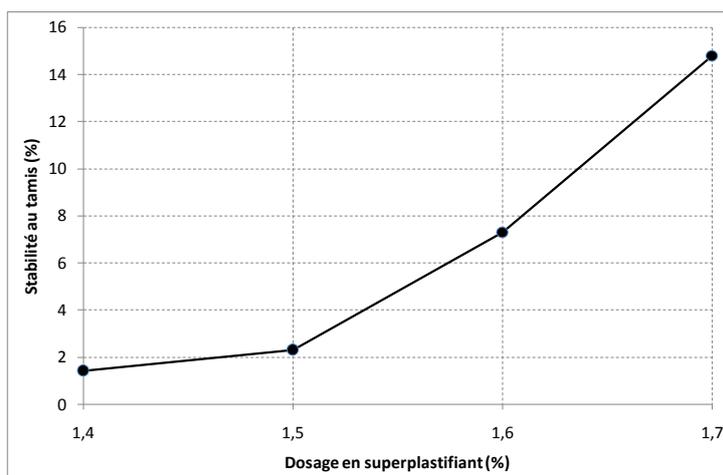


Figure 6 : Pourcentage de laitance en fonction du dosage en superplastifiant

Les résultats obtenus sur le rhéomètre montrent qu'une augmentation du dosage en superplastifiant réduit le couple nécessaire pour maintenir une vitesse de rotation donnée. Par ailleurs, nous avons noté que les courbes d'écoulement aux vitesses de rotation décroissantes sont relativement linéaires (Figures 7 et 8), ce qui confirme le comportement Binghamien des quatre bétons testés qui suit le modèle suivant :

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma} \tag{9}$$

où τ (Pa) est la contrainte de cisaillement, τ_0 (Pa) est le seuil de cisaillement, μ (Pa.s) est la viscosité plastique et $\dot{\gamma}$ (1/s) est le taux de cisaillement.

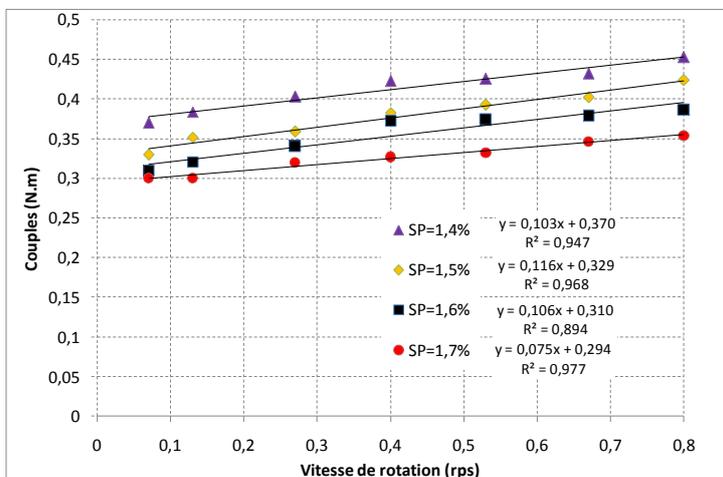


Figure 7 : Évolution des couples en fonction des vitesses de rotation pour les bétons étudiés

Nous avons aussi remarqué que la différence entre les couples mesurés à la vitesse 24 rpm et ceux mesurés à la même vitesse sur le palier final est assez faible (Tableau 3), ce qui montre que le matériau n'a pas subi de ségrégation pendant l'essai.

La figure 9 montre clairement qu'une augmentation du dosage en superplastifiant engendre toujours une diminution du seuil de cisaillement. Ce constat confirme les résultats des essais d'étalement ainsi que les relations

existantes entre le seuil de cisaillement et l'étalement du béton. En effet, l'augmentation de la valeur d'étalement est signe de la baisse du seuil de cisaillement [27, 28]. Par ailleurs, l'effet est un peu moins clair sur la viscosité même si la tendance de diminution de la viscosité l'emporte. En tout cas, il semble que l'effet de diminution de la viscosité se manifeste pour des dosages élevés en superplastifiant car les grains du liant deviennent saturés par les additions organiques et par conséquent la viscosité

de la pâte responsable de la lubrification du mélange est considérablement réduite.

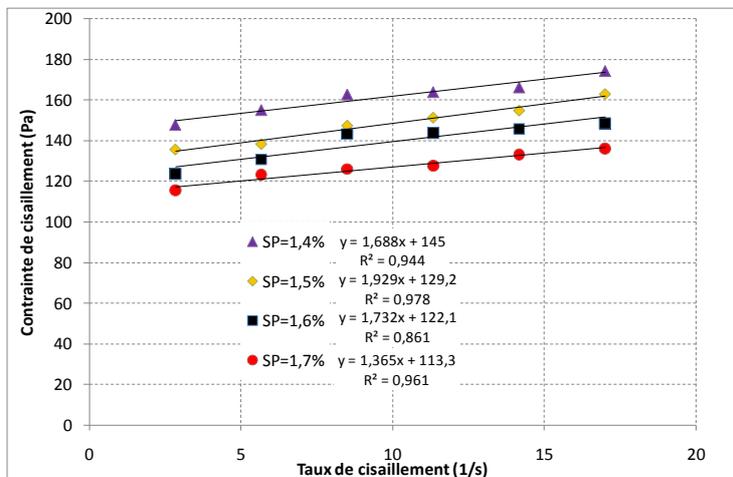


Figure 8 : Courbes d'écoulement des bétons étudiés

Tableau 3
Vérification de la stabilité des mélanges lors des essais

Mélange	1	2	3	4
Couples à 24 rpm (N,mm)	423	383	372	326
Couples à 24 rpm (palier final) (N,mm)	458	411	403	355
Δ (N,mm)	35	28	31	29
Δ (%)	8,2	7,3	8,3	8,9

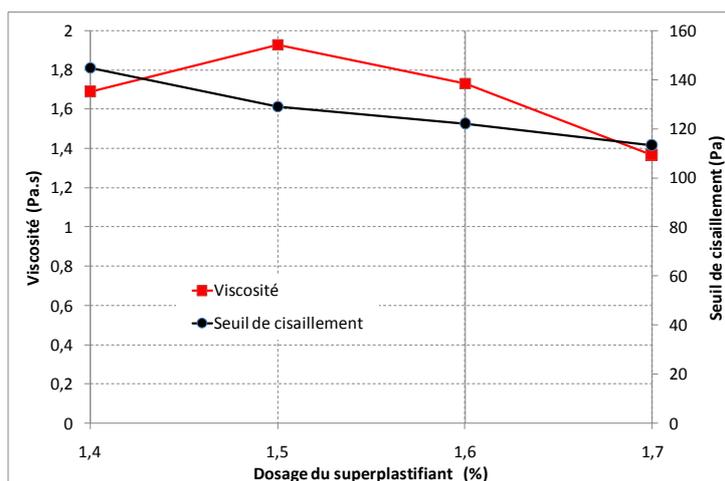


Figure 9 : Variation du seuil de cisaillement et de la viscosité en fonction du dosage du superplastifiant

A partir des résultats présentés sur la figure 10, il est évident que le superplastifiant influe sur le seuil de cisaillement statique d'une façon identique que sur les seuils de cisaillement dynamiques. Les seuils statiques

varient entre 173 et 217 Pa. Ils sont, toujours nettement plus élevés que les seuils dynamiques, qui eux varient entre 113 et 145 Pa. Néanmoins, nous pouvons noter une corrélation entre ces deux paramètres.

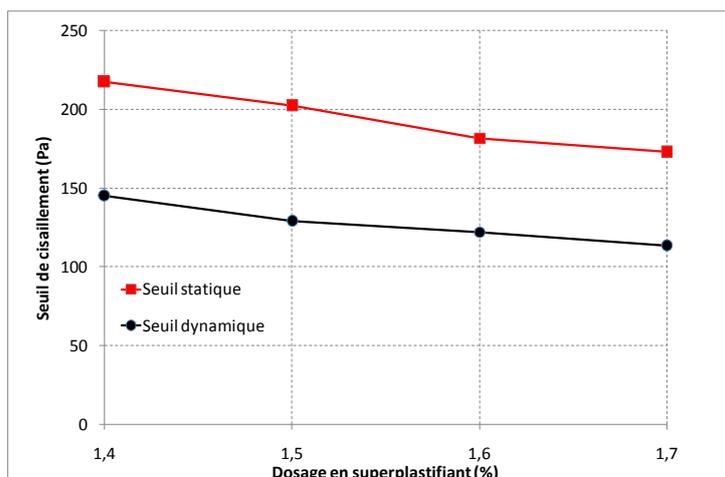


Figure 10 : Variation des seuils de cisaillement dynamiques et statiques en fonction du dosage du superplastifiant

Les essais de compression simple effectués à 28 jours sur les bétons testés (Figure 11) montrent que lorsque le rapport E/L est maintenu fixe, l'augmentation du dosage en superplastifiant a très peu d'influence sur la résistance mécanique. En effet, même si les superplastifiants attribuent à la pâte une meilleure défloculation des grains de ciment pouvant amener à des résistances plus importantes, cet effet est vite rattrapé par l'eau apportée par le superplastifiant lui-même qui a tendance à influencer négativement sur la résistance. C'est la raison pour laquelle l'équilibre entre le pourcentage des superplastifiants et le rapport E/L doit être bien défini en vue d'assurer les meilleures caractéristiques rhéologiques et mécaniques aux mélanges.

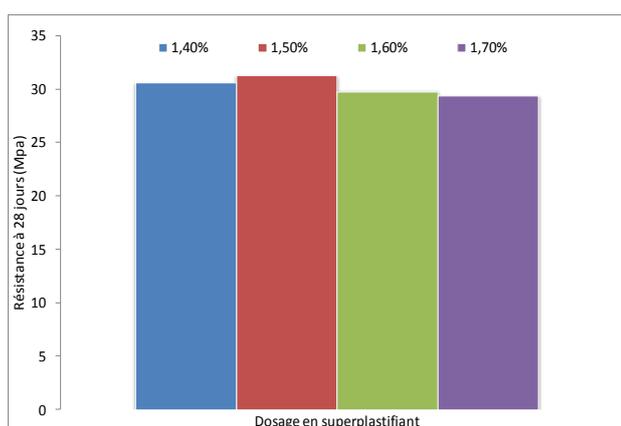


Figure 11 : Résistance à la compression à 28 jours en fonction du dosage en superplastifiant

6. Conclusion

Les résultats des essais rhéologiques montrent l'intérêt d'optimiser le dosage en superplastifiant pour la formulation des bétons autoplaçants. Cette recherche nous a permis de tirer les enseignements suivants :

- La démarche rhéologique utilisée aboutit à des résultats intéressants pour l'estimation des paramètres rhéologiques (seuil de cisaillement dynamique, statique et viscosité plastique) ;
- Le superplastifiant influe d'une façon significative sur les seuils de cisaillement dynamiques et statiques. L'augmentation de la teneur de l'adjuvant a tendance à diminuer ces deux paramètres ;
- Les superplastifiants semblent réduire la viscosité surtout à des dosages élevés ;
- La stabilité du mélange reste un paramètre à surveiller lorsque la teneur en superplastifiant est importante ;
- Le comportement Binghamien est confirmé pour les bétons testés.

Références

- [1] Loukili Ahmed, les bétons autoplaçants, Editions Lavoisier, 2011.
- [2] Mechaymech Ahmed, "Effets des viscosants sur la rhéologie et la stabilité des systèmes cimentaires fluides", Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, 2010.
- [3] Messaoudi Farih, "Influences des agents de viscosité sur les paramètres rhéologiques intrinsèques des mortiers des bétons autoplaçants", Thèse de Doctorat (2016), Université de Tizi Ouzou, Algérie.
- [4] Ghomari F., Boukli Hacène S.M.A., Taleb O., Study of Limestone Addition on the Mechanical and Rheological

- Characteristics in the SCC., Jordan Journal of Civil Engineering, 5 (3) (2011) 412 – 423.
- [5] Ghezal A., Khayat K.H. (2002) : Optimizing self consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods, ACI Materials Journal (N°99 – M27), May – June.
- [6] Taleb O., Ghomari F., Boukli Hacene S.M.A., Kadri E-H., Soualhi H., Formulation and rheology of eco-self compacting concrete (Eco-SCC), Journal of Adhesion Science and Technology, 31(3) (2017) 272 – 296
- [7] Adjoudj M., Ezziane K., Kadri E-H, Ngo T. T., Kaci A., Evaluation of rheological parameters of mortar containing various amounts of mineral addition with polycarboxylate superplasticizer, Construction and Building Materials, 70 (2014) 549–559.
- [8] Aïtcin Pierre – Claude, Bétons haute performance, Editions Eyrolles, 2001.
- [9] Julie Hot, "Influence des polymers de type superplastifiants et agents entraîneurs d'air sur la viscosité macroscopique des matériaux cimentaires". Thèse de doctorat, Paris Est, France, 2013.
- [10] Olafur Haraldsson Wallevik, Jon Elvar Wallevik, Rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes, Cement and Concrete Research, 41 (2011) 1279–1288
- [11] Soualhi H., Kadri E-H, Ngo T. T., Bouvet A., Cussigh F. and Benabed, Rheology of ordinary and low-impact environmental concretes, Journal of Adhesion Science and Technology, 29 (20) (2015) 2160–2175
- [12] Smeplass S., (1994) : Applicability of the bingham model to high strength concrete. Ed. P.J.M. Bartos, Proceedings of the conference RILEM, Special : concrete workability and mixing, Paisley, Scotland, 145 – 151.
- [13] Banfill, P. F. G., Rheology of fresh cement and concrete, (Chapter in Book), Rheology Reviews, (2006) 61-130, British Society of Rheology
- [14] Mork, J. H., "A Presentation of the BML Viscometer", P. J. M. Bartos, C. L. Marrs, and D. J. Cleland, Eds., Production Methods and Workability of Concrete, Proc. of the Conf. RILEM, E & FN Spon, 369-376, 1996.
- [15] Fares H., Noumowe A., Remond S. Self-consolidating concrete subjected to high temperature: mechanical and physicochemical properties., Cem. Concr. Res., 39 (2009) 1230–1238.
- [16] Koehler E. and Fowler D., Development of a portable rheometer for fresh Portland cement concrete ICAR Report 105-3F., Aggregates foundation for technology research and education, 2004.
- [17] Khayat K. H., Workability, testing and performance of self consolidating concrete., ACI Mater J., 96 (3) (1999) 346 – 353.
- [18] Cyr M., Legrand C., Mouret M., Study of the shear thickening effect of supeplasticizers on the rheological behavior of cement pastes containing or not mineral additives, Cement Concrete Research, 30 (2000) 1477 – 1483.
- [19] Golaszewski J., Szwabowski J., Influence of superplasticizers on rheological behavior of fresh cement mortars, Cement and Concrete Research, 34 (2004) 235 – 248.
- [20] Bouhamou N., Belas N., Mesbah H., Mebrouki A., Yahia A., Influence des paramètres de composition sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais, Afrique Science, 04 (1) (2008) 1-20.
- [21] Association Française de Génie Civil, Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants, 2008.
- [22] Soualhi H., Kadri E-H, Ngo T. T., Bouvet A., Cussigh F., Tahar Z-E-A, Design of portable rheometer with new vane geometry to estimate concrete rheological parameters, Journal of civil engineering and management, , 23 (3) (2017) 347 – 355.
- [23] Lanos C., Estellé P., Vers une réelle rhéométrie adaptée aux bétons frais, European Journal of Environmental and Civil Engineering, 13 (4) (2009) 457-471.
- [24] Siwar N., "Développement d'essais pour évaluer la thixotropie et la robustesse des bétons autoplaçants". Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, 2009
- [25] Estellé P., Lanos C., Shear flow curve in mixing systems—A simplified approach, Chemical Engineering Science, 63 (2008) 5887 – 5890.
- [26] Estellé P., Lanos C., Perrot A., Processing the Couette viscometry data using a Bingham approximation in shear rate calculation, J. Non Newtonian Fluid Mech, 154 (2008) 31–38.
- [27] Oskar E., "Early age properties of self compacting concrete : Effects of fine aggregate and limestone filler". PhD Thesis. Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden, 2007.
- [28] Zerbino R., Barragan B., Garcia T., Agullo L., Gettu R., Workability tests and rheological parameters in self-compacting concrete, Materials and Structures, 42 (2009) 947–960