

ÉTUDE DU COMPORTEMENT RHÉOLOGIQUE DES PÂTES AUTOPLAÇANTES MARBRÉES

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RHEOLOGICAL BEHAVIOUR OF SELF-COMPACTING MARBLED PASTE

F. MESSAOUDI, O. HADDAD, R. BOURAS et S. KACI

Laboratoire de Modélisation expérimentale et numérique des Matériaux et structures en génie civil
Université mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie

I. INTRODUCTION

Le développement des bétons autoplaçants (BAP) et des bétons à hautes performances est spécialement lié aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et à l'utilisation des additions minérales [1, 2]. Plusieurs modèles de prévision du comportement rhéologique des bétons sont développés [3, 4, 5]. Ces modèles nécessitent la maîtrise des propriétés des constituants du béton, notamment la rhéologie des pâtes [4, 6, 7, 8]. En effet, les bétons d'aujourd'hui sont souvent composés d'additions minérales, cette présence a des effets sur le comportement des pâtes cimentaires et donc le comportement rhéologique du béton et toutes les propriétés afférentes, il est donc nécessaire de faire les études en leur présence. Dans cette étude on s'intéresse au comportement des pâtes autoplaçantes (très fluides) qui rentrent dans la composition des bétons

autoplaçants. Nous avons alors étudié l'influence du dosage des différents composants des pâtes, notamment le dosage de la poudre de marbre sur leur comportement rhéologique (étalement, seuil de cisaillement et viscosité plastique).

La poudre de marbre choisie pour notre étude présente un intérêt économique car c'est une poudre de récupération issue des déchets d'une fabrique de produits en marbre.

L'étude menée est basée sur des résultats d'essais rhéologiques à l'aide du rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1 et d'étalement au mini cône en faisant varier plusieurs paramètres à savoir : le pourcentage d'addition dans les pâtes, la quantité d'eau, le dosage en superplastifiant et le dosage en agent de viscosité.

Une corrélation entre les résultats d'essais d'étalement au mini cône et les valeurs mesurées à l'aide du rhéomètre est étudiée.

II. MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALES

A. Matériaux utilisés

Le ciment utilisé est un CEM II/A 32,5R, de masse volumique apparente (ρ_{app}) et absolue (ρ_{abs}) respectivement de 1040 kg/m³ et 3100 kg/m³, une surface spécifique Blaine de 4519 cm²/g et de composition minéralogique : C₃S = 58.8%, C₂S = 18,1%, C₃A = 9.1%, C₄AF = 8.2%.

La poudre de marbre utilisé est composée essentiellement de calcite CaCO₃ avec une teneur supérieure à 90%. Cette poudre présente un intérêt économique car c'est une poudre de récupération issue des déchets d'une marbrerie, de masse volumique apparente (ρ_{app}) et absolue (ρ_{abs}) respectivement de 926 kg/m³ et de 2650 kg/m³, de surface spécifique Blaine de 7312 cm²/g.

Le superplastifiant utilisé est un MEDAPLAST SP 40, c'est un superplastifiant haut réducteur d'eau de type polynaphtalène sulfoné (PNS), l'agent de viscosité est le CIMCIL L25.

B. Procédures expérimentales

Deux programmes expérimentaux sont menés en parallèle.

Essais au rhéomètre

Le premier programme est de caractériser le comportement rhéologique des pâtes à l'aide du rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1.

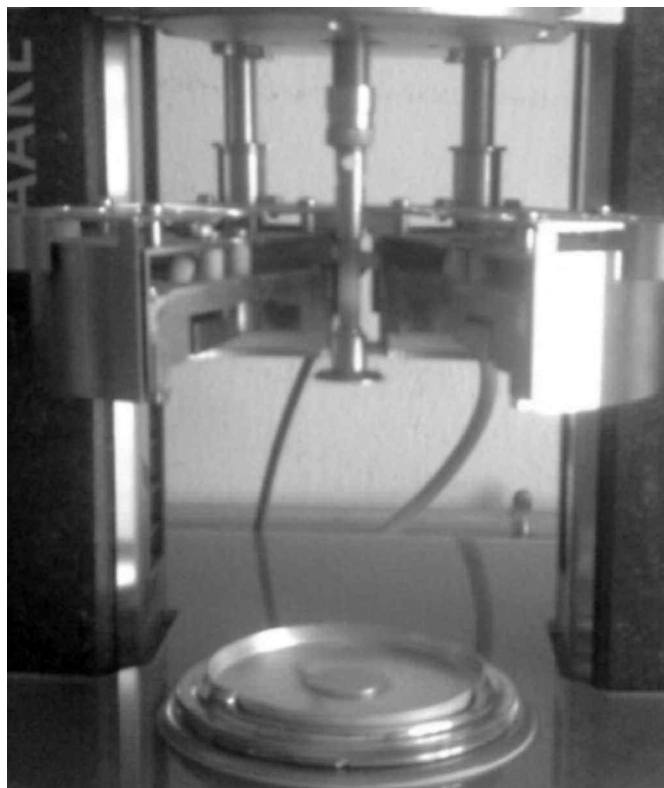


Fig. 1. Rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1.

Le principe de l'essai consiste à cisailer un échantillon de pâte entre deux plateaux à surfaces horizontales, l'un au repos et l'autre mobile (rhéomètre à géométrie plan-plan). Ce rhéomètre est équipé d'une vanne Rotor à vitesse imposée. Après plusieurs ajustements, l'entrefer entre les deux plateaux a été validé à 1,5 mm. Les essais sont réalisés à une température de 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). L'exploitation des courbes d'écoulement a été faite par le logiciel kaleida Graph (Version – 4.03).

Le protocole suivi pour nos essais est le suivant : un pré-cisaillement à 10 s⁻¹ pendant 2 minutes précède chaque rampe de montée en vitesse. Cette étape permet de déstructurer le matériau et d'obtenir un état de référence identique à toutes les pâtes. Ensuite une rampe linéaire croissante de vitesse de 0 à 70 s⁻¹ pendant 5 minutes est appliquée.

Essais au mini cône

Le deuxième programme expérimental est réalisé en utilisant le mini-cône tronconique creux pour la mesure de l'étalement des pâtes.

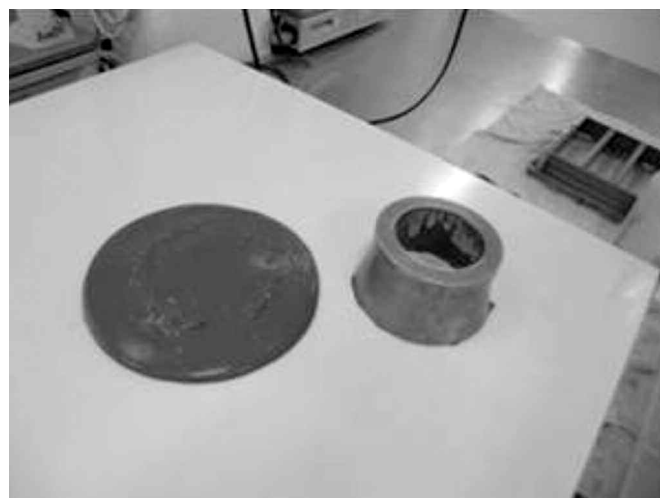


Fig. 2. Essai d'étalement au mini-cône.

Les dimensions du mini-cône sont : 40 mm de hauteur, 70 mm de diamètre supérieur et 80 mm de diamètre inférieur. Le cône est placé au centre d'une plaque en verre puis rempli de pâte. Le mini-cône est ensuite soulevé pour laisser la pâte s'écouler. Deux mesures d'étalement sont effectuées perpendiculairement.

Formulations étudiées

Les différentes compositions testées sont formulées à masses constantes soit 500 g. Le superplastifiant et l'agent de viscosité sont exprimés en pourcentage de la masse du ciment. Les compositions testées sont récapitulées sous forme de groupes avec à chaque fois un ou deux composants qui varient.

Abréviations : SP : dosage en superplastifiant ; AV : dosage en agent de viscosité ; E : eau ; C : ciment ; PM : poudre de marbre.

Les formules sont récapitulées sous forme de groupes :

- Groupes (1, 2 et 3) formulés de C + E + PM avec pour le Groupe 1 [E/(C+PM) = 0,40], le Groupe 2 [E/(C+PM) = 0,45] et le Groupe 3 [E/(C+PM) = 0,50]. Pour ces trois groupes nous avons (C/PM) variable puis le SP variable.

Dans ce cas, pour une composition à $E/(C+PM)$ fixé à 0,40, on substitue alors la masse du ciment par de la PM de 0 PM à $C/PM = 1,2$; et pour chaque valeur de C/PM fixée on fait varier le SP. Cette explication est valable pour ces trois groupes.

- Groupes (4, 5 et 6) formulés de C + E + PM avec pour le Groupe 4 [$E/(C+PM) = 0,40$], le Groupe 5 [$E/(C+PM) = 0,45$] et le Groupe 6 [$E/(C+PM) = 0,50$]. Pour ces trois groupes nous avons ($C/PM = 2$, le SP variable puis le AV variable.

Dans ce cas, pour une composition à $E/(C+PM)$ fixé à 0,40, C/PM est fixé à 2 ; et pour chaque valeur de AV fixée on fait varier le SP. Cette explication est valable pour ces trois groupes.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

A. Résultats au mini-cône

Nous présentons les résultats des essais au mini-cône effectués sur les différentes compositions. L'analyse des résultats conduit à comprendre l'effet combiné des trois paramètres : poudre de marbre et des deux adjuvants sur l'écoulement des pâtes autoplacantes.

Résultats des groupes 1, 2 et 3 (sans AV)

Les figure 3a, 3b et 3c correspondent aux résultats d'étalement en fonction de la variation du dosage en SP et du rapport C/PM soit donc la quantité de PM dans les pâtes formulées aux mêmes rapports : $E/(C+PM) = 0,40$ pour la figure 3a, $E/(C+PM) = 0,45$ pour la 3b et $E/(C+PM) = 0,50$ pour la 3c.

La première remarque que l'on peut apporter à ces pâtes de béton est que sur l'ensemble des essais menés pour tous les mélanges, l'étalement pour une composition donnée,

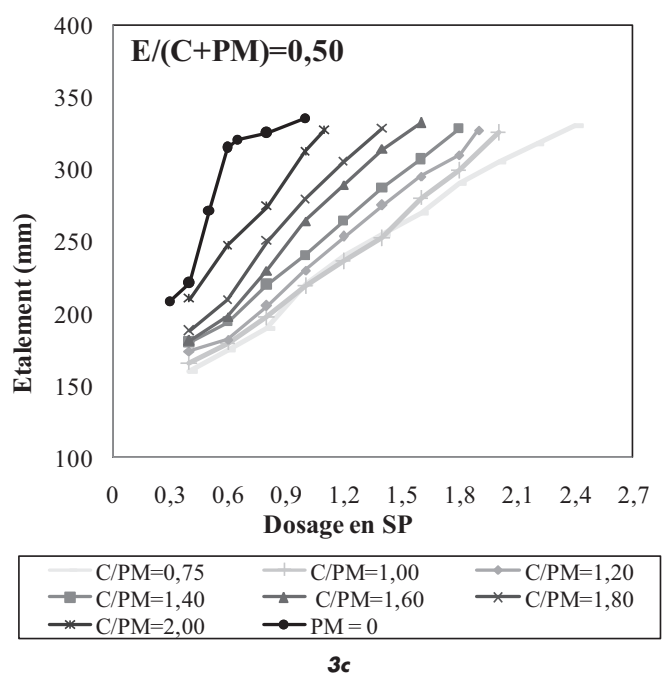
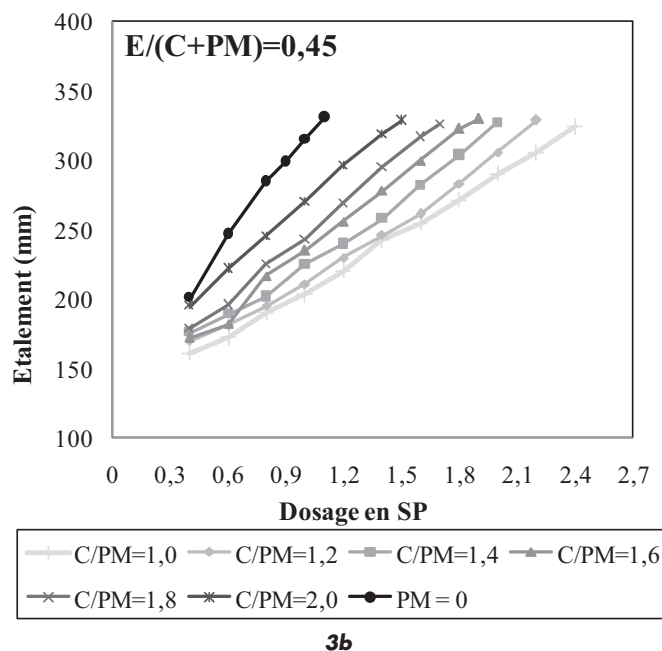
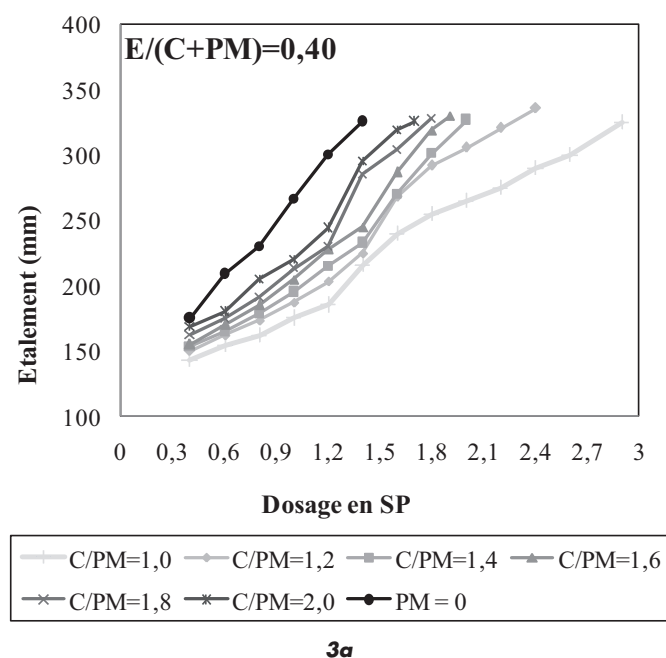


Fig. 3. Évolution de l'étalement en fonction de SP et de C/PM des pâtes des groupes 1, 2 et 3.

mêmes rapports $E/(C+PM)$ et C/PM , augmente avec l'augmentation du SP.

La deuxième remarque est que sur l'ensemble des essais menés sur tous les mélanges, (pour le rapport $E/(C+PM)$ fixé par exemple à 0,40 et pour un SP fixé), l'étalement diminue avec l'augmentation de la quantité de la poudre de marbre dans la pâte est donc avec le C/PM qui diminue. Autrement dit, pour un même SP, moins on met de poudre de marbre dans la composition plus la pâte s'étale.

Sur la figure 4 nous avons représenté les résultats d'étalement obtenus pour les pâtes formulées au même rapport ($E/(C+PM) = 0,40$) et un dosage en SP fixé à 1 % du poids de ciment avec un rapport C/PM variable.

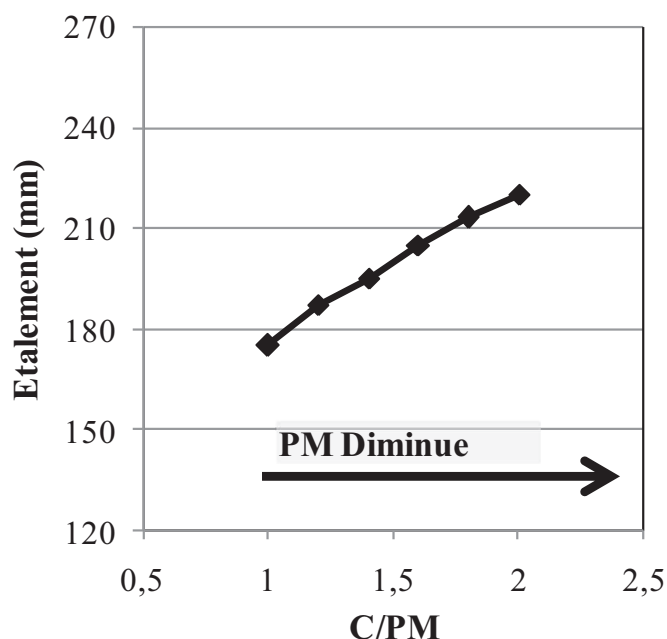


Fig. 4. Évolution de l'étalement en fonction de C/PM pour un SP fixé à 1 % (cas ou $E/(C+PM) = 0,40$).

La figure montre l'augmentation de l'étalement de la valeur de 175 mm avec un rapport de C/PM = 1 à 220 mm pour un rapport de C/PM = 2.

Ainsi, la substitution du ciment par la poudre de marbre a un effet inversement proportionnel sur l'étalement de la pâte, cela on maintenant le SP fixé par rapport au poids du ciment. Dans ce cas pour fluidifier la pâte, on sera obligé de compenser la perte en fluidité due à la présence de la PM en augmentant le dosage en SP.

Sur la figure 5 suivante, nous avons représenté la variation de l'étalement en fonction du rapport C/PM pour un dosage en SP fixé à 1 % cela pour les pâtes formulées à différents rapports $E/(C+PM)$.

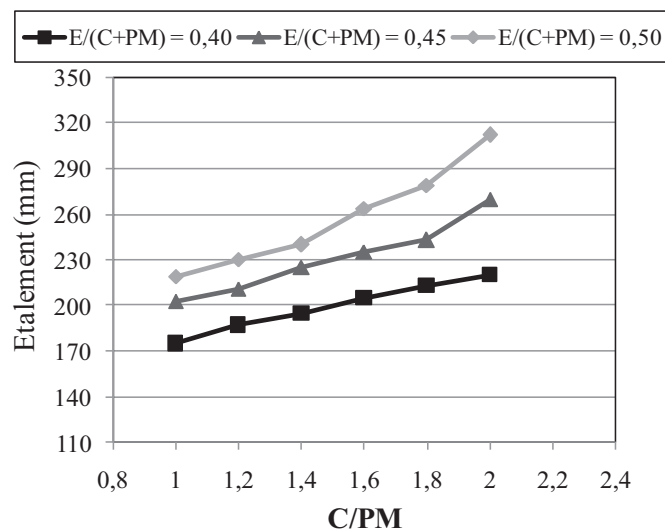


Fig. 5. Évolution de l'étalement en fonction de C/PM pour un SP fixé à 1 % et $E/(C+PM)$ variable.

Cette diminution d'étalement peut être s'expliquée par le besoin important en eau et la grande surface spécifique de la poudre de marbre.

Avec l'augmentation de la finesse, la surface de mouillage des particules de l'addition augmente induisant ainsi une plus grande quantité d'eau qui est adsorbée par la surface des particules de l'addition et pour remplir les vides inter-particules. En plus de leur distribution granulométrique, les propriétés de mouillabilité des poudres ainsi que leur charge de surface peuvent également affecter la demande en eau [14, 17].

Résultats des groupes 4, 5 et 6 (avec AV)

Parce que les résultats obtenus sur le groupe 6 sont ressemblants à ceux obtenus sur les groupes 4 et 5, sur les figures 6a, 6b sont représentés les résultats d'étalement en fonction de la variation de SP et de AV, le rapport C/PM est fixé à 2, les pâtes sont formulées à un rapport : $E/(C+PM) = 0,40$ pour la figure 6a, $E/(C+PM) = 0,45$ pour la 6b.

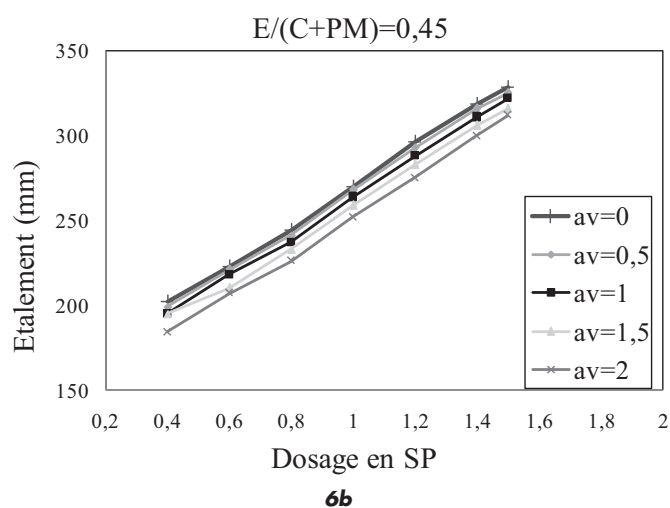
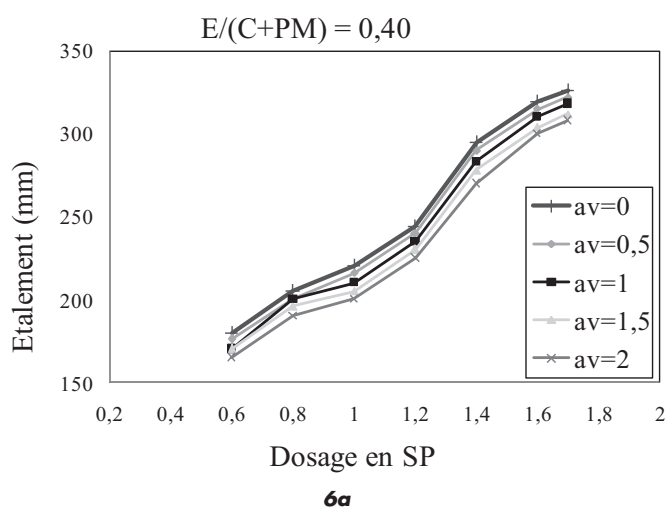


Fig. 6. Évolution de l'étalement en fonction du dosage en SP pour les pâtes du groupe 4 et 5.

Les résultats de la figure 6 montrent que l'introduction de l'agent de viscosité dans les différentes compositions n'a pas une grande influence sur les mesures d'étalement. En effet, sur les trois groupes de pâtes étudiés la différence d'étalement entre les pâtes formulées à 0 % de AV et les pâtes formulées à 2 % de AV l'étalement a diminué en moyenne de 18 mm.

Quand au superplastifiant, son action n'est pas influencée par la présence de l'agent de viscosité car l'étalement évolue de la même manière, avec les mêmes écarts, entre les pâtes avec des AV différents. Cela démontre qu'il n'y a pas eu d'interaction chimique entre les deux adjuvants.

B. Résultats au rhéomètre

Dans cette partie nous avons étudié le comportement au rhéomètre des différentes pâtes autoplaçantes testées sans et avec l'agent de viscosité. Pour ces cas, nous avons étudié l'influence combinée de la teneur en PM et du SP sur le seuil de cisaillement et sur la viscosité plastique.

Les rhéogrammes enregistrés par nos essais au rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1 sur les différentes pâtes suivent une loi du type Herschel-Bulkley qui s'exprime par la relation (1) suivante. Ce résultat est conforme à ce que l'on trouve dans la littérature [6, 7, 8, 9 et 13].

$$\tau = \tau_0 + b (\dot{\gamma})^c \quad (1)$$

Où: τ est la contrainte de cisaillement, τ_0 est le seuil de cisaillement qui correspond à l'ordonnée à l'origine du rhéogramme, $\dot{\gamma}$ représente la vitesse de cisaillement, c représente l'indice de fluidité.

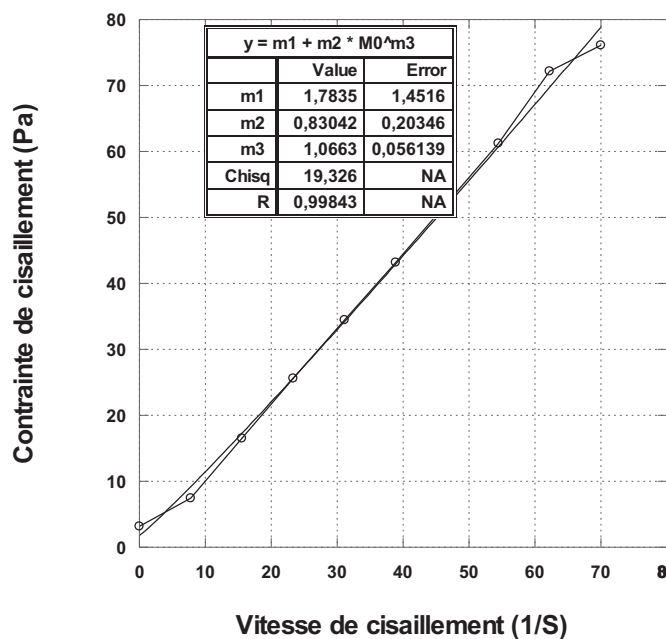


Fig. 7. Exemple de rhéogramme obtenu avec le rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1.

$m1$, $m2$ et $m3$ représente respectivement τ_0 , b et c ; dans notre cas l'indice de fluidité = 1,0063 il est proche de 1 (fluide de Bingham).

Les courbes obtenues changent de paramètres en fonction de la quantité de poudre ajoutée et de la présence ou pas du superplastifiant ou de l'agent de viscosité.

Résultats du seuil de cisaillement des groupes 1, 2 et 3 (sans AV)

Sur la figure 8 suivante sont représentées les courbes d'évolution du seuil de cisaillement en fonction du SP pour le cas de pâtes des groupes 1 et 2 et 3.

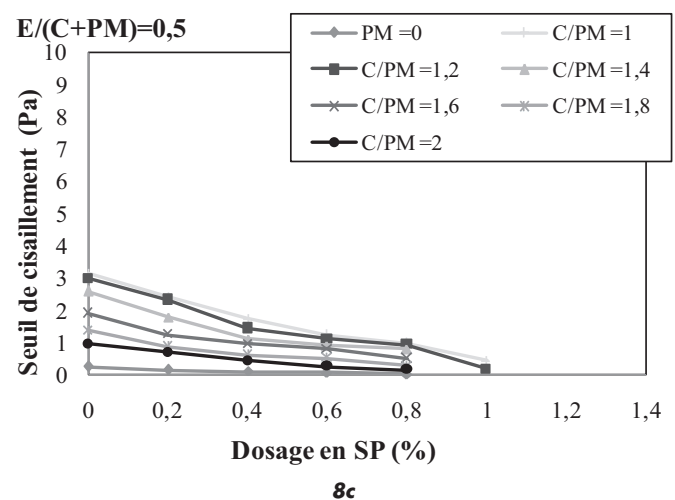
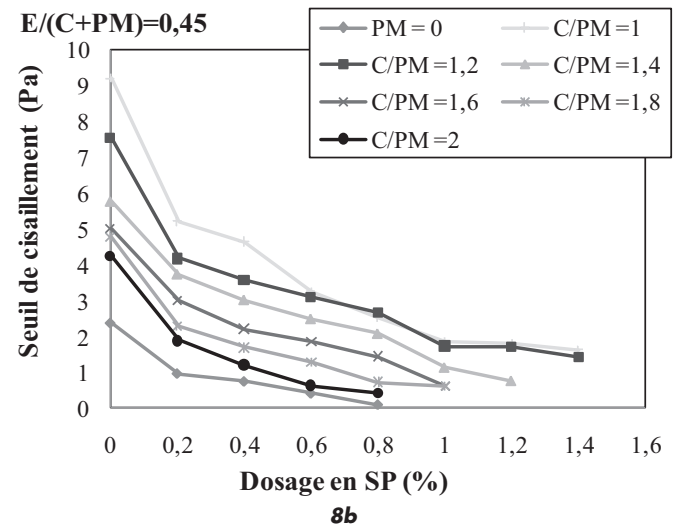
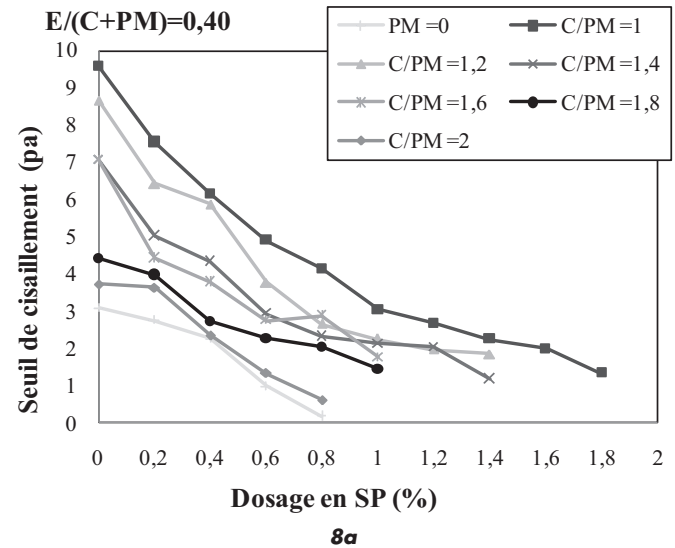


Fig. 8. Évolution du seuil de cisaillement en fonction du SP des pâtes des groupes 1, 2 et 3.

Sur ces figures on constate que pour ces pâtes autoplçantes les valeurs de seuil de cisaillement mesurées évoluent en baisse avec l'augmentation du SP, cela en maintenant tous les autres paramètres constants (rapports $E/(C+PM)$ et C/PM). Suivant le mode d'action du SP et l'interaction adjuvant-particule, à savoir, la compatibilité et l'affinité entre le ciment et le SP, ce dernier enrobe les grains, surtout les particules fines, (ciment et fine d'ajout) en s'adsorbant à leur surface et faire en sorte de les défloculer [15, 16]. Quand à la substitution du C par de la PM, plus on met de PM (C/PM diminue) plus le seuil de cisaillement est plus grand, et donc il faut plus de superplastifiant pour fluidifier les pâtes formulées avec le même rapport ($E/(C+PM)$). Donc le seuil de cisaillement augmente avec la substitution du C par de la PM en maintenant le SP constant. Par ailleurs, on constate également que les valeurs seuil de cisaillement baissent avec l'augmentation du rapport ($E/(C+PM)$) cela en comparant les trois groupes de graphes de la figures 8. La baisse constatée est légère entre les mêmes pâtes à rapports ($E/(C+PM) = 0,40$ et $0,45$). Par contre cette baisse est importante entre les pâtes à rapports ($E/(C+PM) = 0,45$ et $0,50$).

Résultats de la viscosité des groupes 1, 2 et 3 (sans AV)

Dans le cas des groupes 1, 2 et 3 nous avons étudié l'influence combinée de la teneur en PM et du SP sur la viscosité des différentes pâtes autoplçantes.

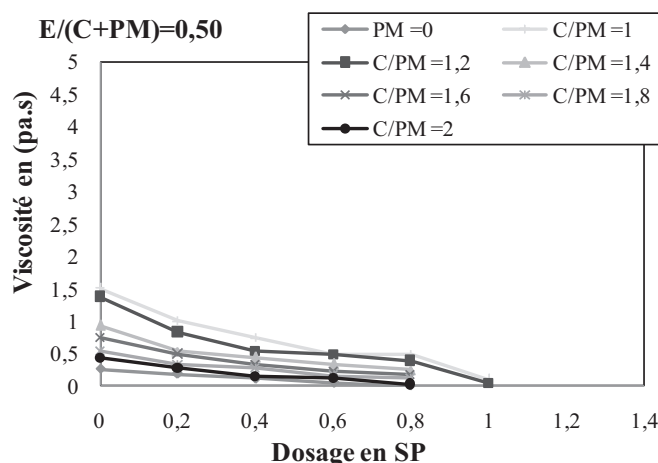
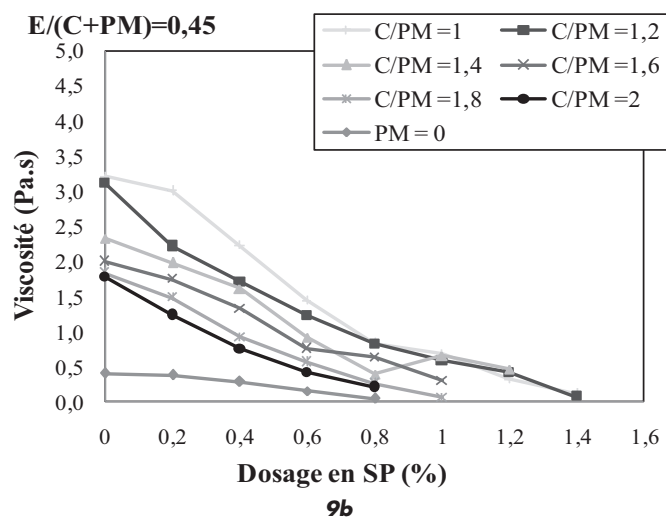
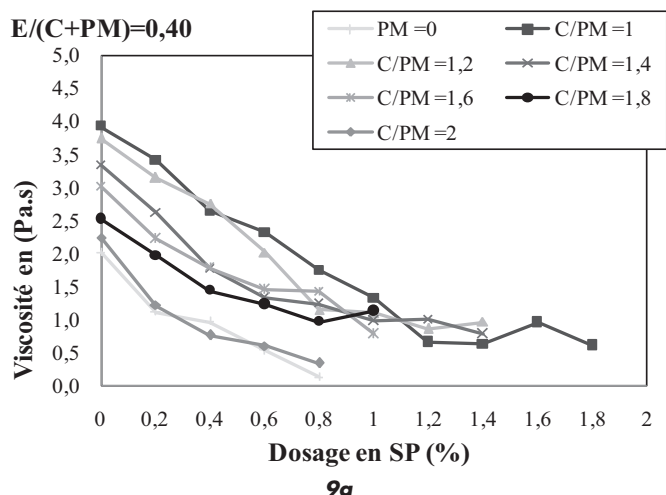


Fig. 9. Evolution de la viscosité plastique en fonction de SP pour les pâtes des groupes 1, 2 et 3.

À partir de ces figures on constate que les valeurs de la viscosité plastique mesurées pour ces pâtes évoluent en baisse avec l'augmentation du SP cela en maintenant les rapports $E/(C+PM)$ et C/PM constants.

Quand à la substitution du C par de la PM, plus on met de la PM (C/PM diminue) plus la viscosité plastique est grande ; donc la viscosité augmente avec la substitution du C par de la PM en maintenant le SP constant.

Par ailleurs, on constate également que les valeurs de la viscosité plastique baissent avec l'augmentation du rapport ($E/(C+PM)$) cela en comparant les trois images de la figures 9.

De tous les résultats obtenus, nous pouvons dire que plus le SP augmente plus l'écoulement du matériau se rapproche de l'écoulement newtonien et ce grâce à l'effet dispersant de SP, résultats aussi confirmés dans la littérature [18, 19].

Résultats du seuil de cisaillement des groupes 4, 5 et 6 (avec AV)

Sur la figure 10 sont représentés les résultats du seuil de cisaillement en fonction de la variation du AV et du SP, le rapport C/PM est fixé à 2, les pâtes sont formulées à un rapport $E/(C+PM)$ égale à (0,40 pour le Groupe 4 ; 0,45 pour le groupe 5 et 0,50 pour le groupe 6).

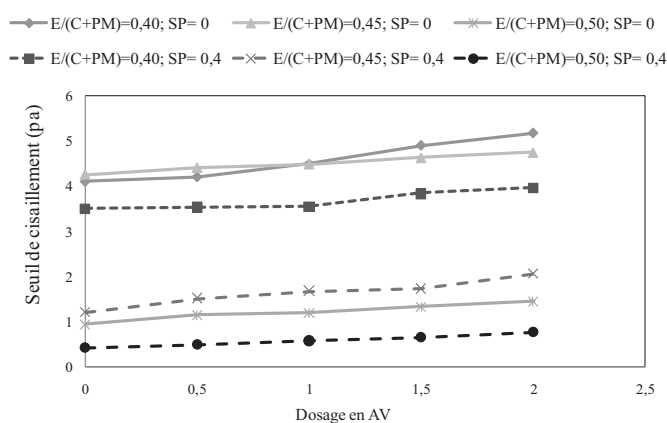


Fig. 10. Évolution du seuil de cisaillement en fonction du AV et du SP des pâtes des groupes 4, 5 et 6.

Pour la figure 10 on constate que pour ces pâtes autoplacantes les valeurs de seuil de cisaillement mesurées évoluent avec une légère hausse avec l'augmentation du AV, cela en maintenant tous les autres paramètres constants ($E/(C+PM)$, C/PM et SP). Ce résultat est conforme à l'usage de l'agent de viscosité qui est souvent utilisé pour rendre les matériaux visqueux sans affecter leur seuil de cisaillement.

L'introduction du SP à un dosage de 0,4 % a fait baisser le seuil de cisaillement. La baisse produite entre les formules sans SP et celles à 0,4 % SP est uniforme car les courbes évoluent parallèlement.

Par ailleurs, on constate également que les valeurs du seuil baissent avec l'augmentation du rapport ($E/(C+PM)$).

Résultats de la viscosité plastique des groupes 4, 5 et 6 (avec AV)

Sur la figure 11 sont représentés les résultats de la viscosité en fonction de la variation du AV et du SP, le rapport C/PM est fixé à 2, les pâtes sont formulées à un rapport $E/(C+PM)$ égale à (0,40 pour le Groupe 4 ; 0,45 pour le groupe 5 et 0,50 pour le groupe 6).

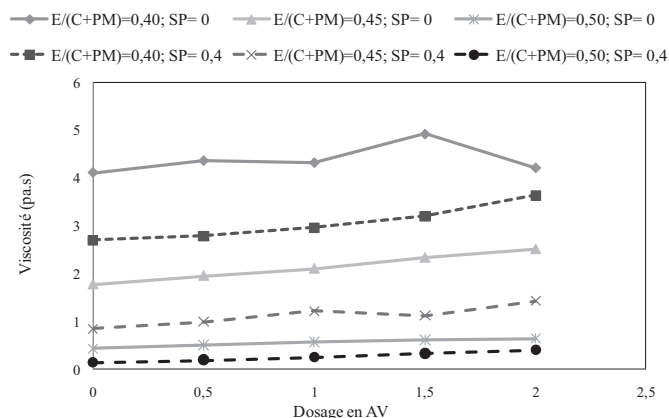


Fig. 11. Évolution de la viscosité en fonction du AV et du SP des pâtes des groupes 4, 5 et 6.

Pour ces figures on constate que pour ces pâtes autoplacantes les valeurs de la viscosité plastique mesurées évoluent en légère hausse avec l'augmentation du AV, cela en maintenant tous les autres paramètres constants ($E/(C+PM)$, C/PM et SP). De même que pour le seuil de cisaillement, les valeurs de la viscosité plastique diminuent avec l'augmentation du rapport ($E/(C+PM)$) soit avec l'augmentation de la quantité d'eau dans la pâte. Et pour le cas où ($E/(C+PM) = 0,5$) les valeurs de la viscosité plastique sont très faibles.

Pour l'effet de l'agent de viscosité sur la viscosité plastique, pour ce cas de pâtes autoplacantes, il est légèrement faible par rapport à ce que l'on y présupposait, car le rôle principal des agents de viscosité est d'apporter de la robustesse aux pâtes.

IV. CORRÉLATION ENTRE SEUIL DE CISAILLEMENT ET L'ÉTALEMENT DES PÂTES AUTOPLACANTES

Les résultats de mesure d'étalement obtenus au mini-cône ont été utilisés pour établir une corrélation avec le seuil de

cisaillement obtenu par le rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1.

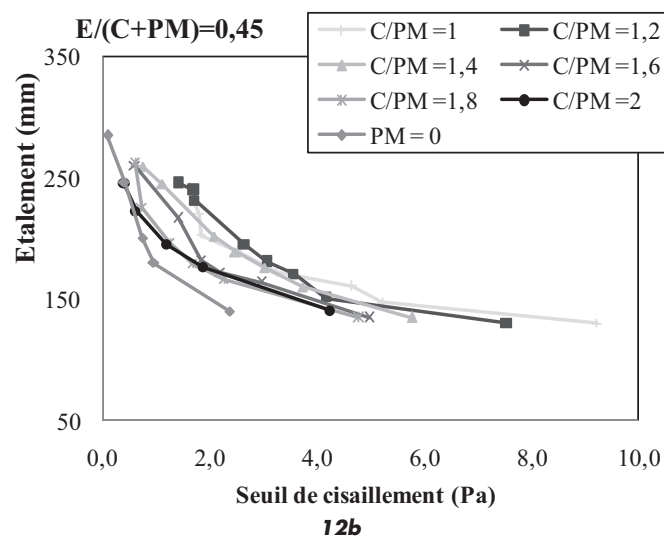
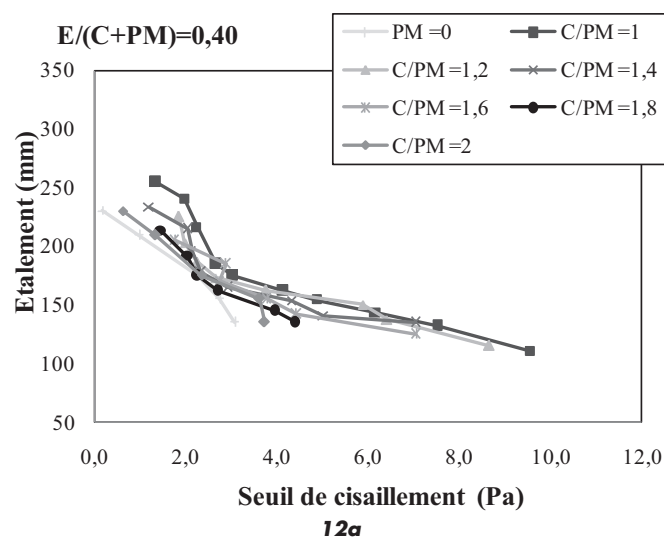
Les figures 12 et 13 montrent une diminution de l'étalement pour des différentes pâtes avec l'augmentation du seuil de cisaillement. Ces résultats confirment ceux de plusieurs auteurs [10, 11, 12].

A. Corrélation entre l'étalement et le seuil de cisaillement des résultats des groupes 1, 2 et 3 (sans AV)

Pour les trois cas de résultats représentés sur la figure 12 on constate qu'il existe bien une corrélation entre les résultats d'étalement mesurés au mini-cône et ceux mesurés au rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1.

Cette représentation, pour des pâtes formulées avec le même rapport ($E/(C+PM)$) soit donc avec la même quantité d'eau, sans l'agent de viscosité, nous permet de conclure que :

- l'étalement baisse avec l'augmentation du seuil de cisaillement et donc la réduction du dosage en superplastifiant ;



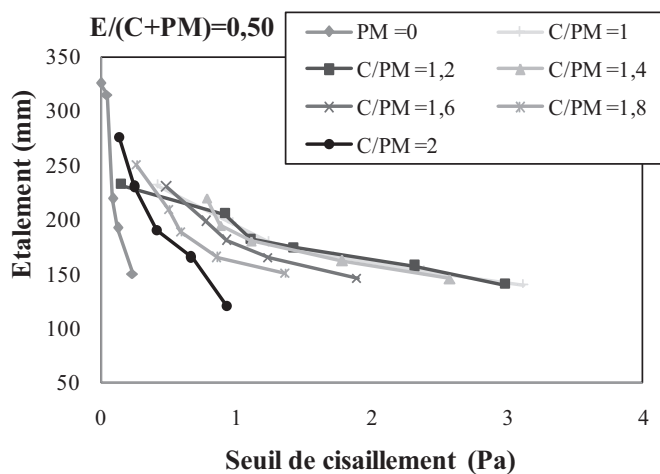


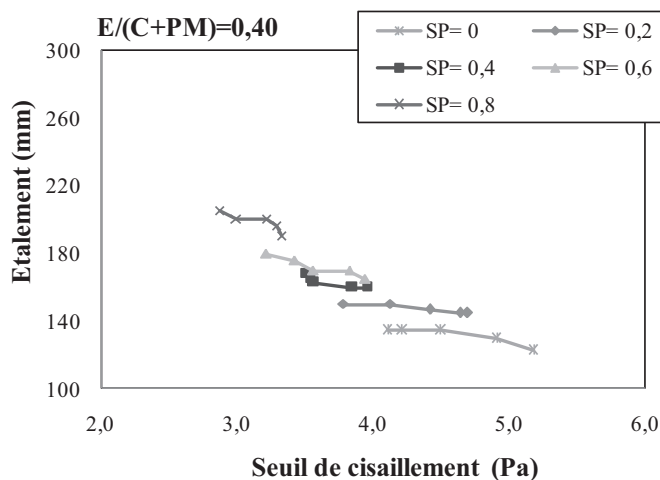
Fig. 12. Corrélation entre l'étalement et le seuil de cisaillement pour les pâtes du groupe 1, 2 et 3.

- l'étalement baisse avec l'augmentation du seuil de cisaillement et donc la baisse du rapport (C/PM) soit avec l'augmentation de la quantité de la poudre de marbre.

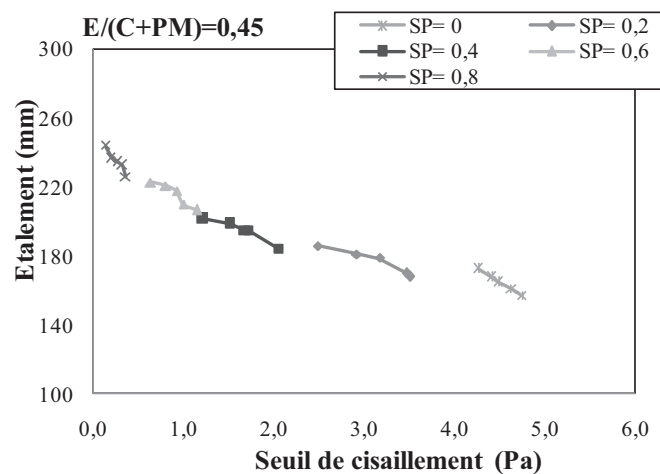
B. Corrélation entre l'étalement et le seuil de cisaillement des résultats des groupes 4, 5 et 6 (avec AV)

Les résultats représentés sur la figure 13 correspondent à ceux des corrélations entre les résultats d'étalement et du rhéomètre ; résultats des pâtes formulées avec le même rapport ($E/(C+PM)$) soit donc avec la même quantité d'eau et un rapport C/PM = 2 en présence de l'agent de viscosité. Les résultats de la figure 13 nous permet de constater que :

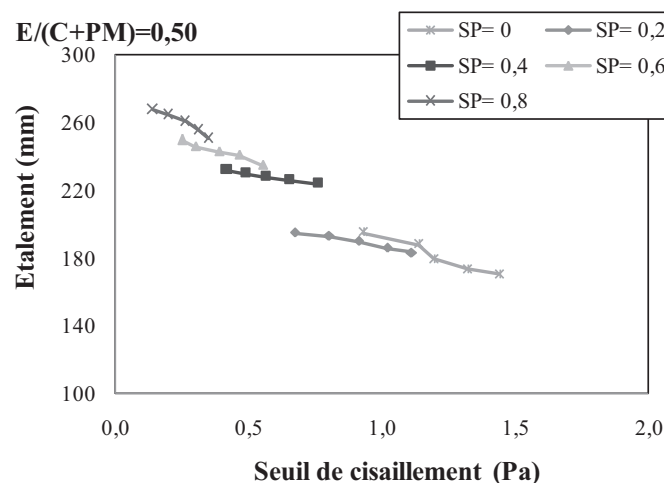
- l'étalement baisse avec l'augmentation du seuil de cisaillement et donc l'augmentation du dosage en agent de viscosité ;
- de même que sur la figure 12, l'étalement baisse avec l'augmentation du seuil de cisaillement et donc la réduction du dosage en superplastifiant.



13a



13b



13c

Fig. 13. Corrélation entre l'étalement et le seuil de cisaillement pour les pâtes du groupe 4, 5 et 6.

V. CONCLUSION

Cette étude a porté sur le comportement rhéologique des pâtes cimentaires autoplaçantes pour lesquelles nous avons remplacé une partie de ciment par de la poudre de marbre issue d'un déchet d'une marbrerie. Les pâtes sont testées en présence d'un superplastifiant et d'un agent de viscosité. Deux programmes d'essais ont été menés : le premier en utilisant le mini-cône pour mesurer l'étalement des pâtes ; le second en utilisant le rhéomètre HAAKE RHEOSTRESS 1 pour mesurer le seuil de cisaillement et la viscosité plastique des pâtes.

De tous les résultats obtenus, nous pouvons dire que pour le cas des pâtes autoplaçantes, plus le SP augmente plus l'écoulement de ces pâtes se rapproche de l'écoulement newtonien et ce grâce à l'effet dispersant de SP.

En terme de corrélation, d'une manière générale, l'étalement est une fonction décroissante du seuil de cisaillement et ce quelque soit la valeur du rapport $E/(C+PM)$ et du rapport C/PM des mélanges. En effet, les deux programmes d'essais ont permis de conclure ce qui suit :

L'augmentation du dosage en superplastifiant fait augmenter l'étalement des pâtes et fait baisser le seuil de cisaillement.

Pour les pâtes (sans AV et un SP fixé), une substitution de plus en plus grande de ciment par la poudre de marbre a diminué l'étalement au mini cône et a modifié les paramètres rhéologiques (seuil de cisaillement et viscosité) à la hausse.

L'introduction de l'agent de viscosité dans les différentes compositions n'a pas une grande influence sur les mesures d'étalement et les mesures du seuil de cisaillement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bury, Christensen, The role of innovative chemical admixtures in producing self consolidating concrete, Proceedings of the first North American conference on the design and use of self-consolidating concrete, 12-13 Novembre 2002, Chicago, pp. 141-146.
- [2] Aïtcin., P-C., Jiang, S., Kim, B-G., "L'interaction ciment / superplastifiant. Cas des polysulfonates", Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, Juillet-Août 2001, n° 233, pp. 87-98.
- [3] F. De Larrard "Granular formulation of concrete structures", Edition LCPC, 2000.
- [4] O. Haddad « Contribution to the development of tools for the formulation of self compacting concrete (SCC) related to the rheology fresh and early strength », PhD thesis, University of Cergy Pontoise, December 2007.
- [5] Roussel N. (2006), A theoretical frame to study stability of fresh concrete, édition RILEM Matériau and structure Vol 39 (1) pp. 75-83.
- [6] Ferraris, C.-F., Obla, K.-H. and Hill, R. (2001), The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, Cement and concrete research, Vol. 31, pp. 245-255.
- [7] Park, C.-K., Noh, M.-H. and Park, T.-H. (2005), "Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures", Cement and concrete research, Vol 35, pp. 842-849.
- [8] T.H. Phan, M. chaouche and M. Moranville: "Influence of organic admixtures on the rheological behaviour of cement pastes", Cement & Concrete Research 36 (2006) (10) pp. 1807-1813.
- [9] R. Bouras. « Rheology of cement pastes for self-compacting concrete », PhD thesis, University of Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2011.
- [10] Saak, A. W., Jennings, H. M. et Shah, S. P. (2004). A generalized approach for the determination of yield stress by slump and slump flow, Cement and Concrete Research, vol. 34, n° 3, pp. 363-371.
- [11] N. Roussel, C. Stefani, et R. Leroy, « From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement based materials yield stress using slump tests », Cement and Concrete Research, pp. 817-822, 2005.
- [12] Schwartzentruber, L., Le roy, R. et Cordin, J. (2006). Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a self-compacting concrete (SCC), Cement and Concrete Research, vol. 36, n° 7, pp. 1203-1213.
- [13] Mansour, M. S., Abadlia, M.T. and Bekkour, K. (2010). Effect of pozzolan on the rheological behavior of cement pastes, mechanical Journal of Applied and Theoretical, Vol. 2, n° 3, pp. 255-263.
- [14] Diederich, P., Mouret, M., DE Ryck, A., Ponchon, F. et Escadeillas, G. (2012). The nature of limestone filler and self-consolidating feasibility-Relationships between physical, chemical and mineralogical properties of fillers and the flow at different states, from powder to cement-based suspension, Powder Technology, vol. 218, pp. 90-101.
- [15] J. Plank, CH. Hirsch, Superplasticiser Adsorption on Synthetic Ettringite, In proceedings of 7th CANMET /ACI Conference on Superplasticizers in Concrete, Berlin, Germany, vol.217, pp. 283-298. (2003).
- [16] Griesser, A., Jakobs, F., Hunker, F. Influence of different Superplasticizers on the rheological properties of mortars. Proc. Of the international 0 7277 3407 5. (2005).
- [17] Michel, F., Pierard, J., Courard, L. et Pollet, V. (2007). Influence of physic-chemical characteristics of limestone fillers on fresh and hardened mortar performances, Proceedings of 5th International RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium, pp. 205-210.
- [18] Safi B., Benmounah A., Li A., Yurdas I., Using the silt (clay) of dams in self compacting concrete (SCC) : publication congrès avec un acte et proceeding édité ; 22nd Word mining congress 11-16 September / Istambul (2011).
- [19] G. Lim, SS. Hong, D.S. Kim, B.J. Lee, J.S. Rho. Slump loss control of cement paste by adding polycarboxylic type slump releasing dispersant, cement and concrete Research vol. 29 (2) pp. 223-229 (1999).