
Soumis le : 18 Juin 2011
 Forme révisée acceptée le : 30 Mai 2012
 Email de l'auteur correspondant :
 a.mhamed@hotmail.fr

Effet de l'élévation de la température sur l'efficacité d'un superplastifiant à base de naphthalène sulfonate en présence d'un ciment composé

Mhamed ADJOU DJ^a, Karim EZZIANE^a, El-Hadj KADRI^b

^aLaboratoire Géomatériaux, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie

^bLaboratoire L2MGC, Université de Cergy Pontoise, France

Résumé

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés en faibles proportions au béton frais, permettent de modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Sous des conditions climatiques sévères, l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains types de ciments et est caractérisée par une prise rapide lors de bétonnage par temps chaud. Cette étude a pour but d'évaluer la perte d'efficacité d'un superplastifiant à base de naphthalène sulfonate (PNS) en présence d'un ciment composé sous une température élevée. Ceci permettra de sélectionner les couples ciment-superplastifiant les plus compatibles. Les résultats montrent que ce superplastifiant présente une bonne fluidité à 5 minutes avec des rapports E/C élevés. A 60 minutes, sa fluidité est complètement détériorée rendant sa compatibilité intermédiaire avec les deux ciments. Ce superplastifiant perd sa fluidité avec le ciment à base de calcaire en dépassant le seuil de température de 25°C. Pour un rapport E/C de 0.45, l'effet de l'élévation de température est significatif en présence d'un ciment pouzzolanique où l'adsorption du superplastifiant est favorisée et la fluidité est accrue.

Mots clés : ciment, cône de Marsh, fluidité, rhéologie, superplastifiant, température.

Abstract

Superplasticizers are organic products which added in small proportions in fresh concrete to modify the rheological properties for a longer or shorter period. Under severe climatic conditions, the effectiveness of some superplasticizers is diminished in the presence of certain types of cements characterized by a rapid setting during hot weather concreting. This study aims to evaluate the efficiency loss of a superplasticizer based on naphthalene sulfonate (PNS) in the presence of a cement compound in a high temperature. This allows to select the most compatible couple « cement / superplasticizer ». The results show that this superplasticizer has good fluidity at 5 minutes with high W/C ratio. At 60 minutes its fluidity is completely deteriorated making through its compatibility with both cements. This superplasticizer loses its fluidity with cement-based on limestone powder above the threshold temperature of 25 ° C. For a (W/C = 0.45), the effect of the a temperature rise is significant in the presence of pozzolanic cement where superplasticizer adsorption is facilitated and the fluidity is increased.

Key words : cement, Marsh cone, fluidity, rheology, superplasticizer, temperature.

1. Introduction

L'apparition des bétons autoplacants (BAP) et des bétons à hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des superplastifiants (SP) [1,2]. Les superplastifiants permettent en effet de défloculer les grains de ciment [3]; ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains [4] et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à leurs chaînes moléculaires très longues [5]. L'eau initialement piégée entre les floccs

est de nouveau disponible pour l'hydratation ou pour fluidifier le mélange. Il devient donc possible de fabriquer des bétons très fluides, même avec moins d'eau qu'il n'en faut pour hydrater le ciment. Ceci conduit à fabriquer des bétons à faible rapport E/C mais faciles à mettre en place [1].

L'utilisation intensive des différents ciments et superplastifiants dans la confection du béton est devenue une nécessité pour obtenir les performances exigées par les concepteurs. Sous des conditions sévères de bétonnage telles que l'élévation de température, l'ensoleillement et l'intensité du vent, l'obtention de ces performances devient très difficile. Cette difficulté est observée pour un béton frais où la perte de maniabilité est vite ressentie à cause de

l'évaporation de l'eau de gâchage et de la cinétique de l'hydratation. De plus, l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains ciments composés et plus particulièrement lorsque le bétonnage s'effectue en climat chaud.

Il est bien connu que l'élévation de température entraîne une baisse et une perte rapide de la fluidité même si certains ciments adjuvés échappent à cette règle. Certains chercheurs [6,7] observaient que la fluidité de différents ciments suit un comportement non linéaire en fonction de l'augmentation de la température du mortier. En outre, Golaszewki et Szwabowski [8] ont observé une forte influence de l'élévation de la température sur le comportement rhéologique des mortiers, accompagnée d'une augmentation du seuil d'écoulement et une diminution de la viscosité plastique. Avec l'élévation de la température la contrainte de cisaillement diminue, cette diminution est beaucoup plus marquée en présence d'un superplastifiant. Griesser [9] a étudié la viscosité des pâtes de ciment et de mortier confectionnées avec dix ciments suisses et trois superplastifiants à l'aide d'un viscosimètre rotatif à des températures allant de 8 à 30°C. La rhéologie des différents coulis suit une loi binghamienne et la viscosité relative augmente avec l'élévation de température pour des coulis sans superplastifiant. Cette augmentation de viscosité est attribuée à la cristallisation importante d'ettringite dans cette plage de température.

De plus, il a été constaté que l'effet de la température sur l'ouvrabilité des mortiers avec 22% de cendres volantes, est réduit par rapport à ceux confectionnés avec 6% de fumée de silice [10]. Le changement important de la rhéologie en fonction du temps et de la température pour les mortiers avec fumée de silice peut être attribué à la forte demande en eau causée par la forte finesse de la fumée de silice [10]. De plus, les mélanges ternaires composés de ciment ordinaire, 22% de cendres volantes et 6% de fumée de silice s'avèrent les plus sensibles à l'élévation de température [10].

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'effet d'une température ambiante élevée supérieure à 20°C sur l'efficacité d'un superplastifiant à base de naphthalène sulfonate en présence de deux ciments composés l'un à base de calcaire et l'autre à base de pozzoulane naturelle. L'étude consiste à mesurer le temps d'écoulement des pâtes de ciment sous différentes températures enregistrées durant la période estivale à Chlef.

2. Étude expérimentale

2.1. Matériaux utilisés

Deux types de ciments commercialisés sont employés pour cette étude. Un ciment composé (CEM II A/L 42.5) noté C1 produit de la cimenterie d'Oued Sly (Chlef) contenant 10% de calcaire, et un autre ciment composé (CEM II A/P 42.5) noté C2 produit de la cimenterie de Zahana (Mascara) contenant 15% de pouzzolane naturelle. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques de ces deux ciments sont présentées dans le tableau 1.

Le superplastifiant utilisé dans cette étude est fourni par l'entreprise GRANITEX (Algérie), il est commercialisé sous le nom de *Médafluid (40)* à base de naphthalène sulfonate noté SP. Le tableau 2 présente quelques caractéristiques de ce produit.

2.2. Matériels utilisés

Parmi les appareils utilisés pour le malaxage des coulis de ciment, on cite le malaxeur de type Hobart. Cet appareil normalisé, avec une capacité de 5 litres sur lequel se base pratiquement toutes les normes pour la préparation des coulis et mortiers, est caractérisé par trois vitesses de rotation selon le coulis désiré.

Tableau 1

Composition chimique et minéralogique des deux types de ciments utilisés (hors ajout calcaire ou pouzzolane).

Caractéristiques		Ciment C1	Ciment C2	Calcaire	Pozzolane
Composition chimique	SiO ₂	22.60	21.74	2.5	46.4
	Al ₂ O ₃	4.20	3.28	0.6	17.5
	Fe ₂ O ₃	3.55	2.90	0.9	10.5
	CaO	62.17	63.70	52.6	10.5
	SO ₃	2.19	1.95		0.4
	MgO	0.63	1.41	0.5	3.8
	K ₂ O	0.42	0.65	0.05	1.5
Minéralogique	C ₃ S	41.8	62.3		
	C ₂ S	33.3	15.2		
	C ₃ A	5.1	3.8		
	C ₄ AF	10.7	8.8		
SSB cm ² /g		3700	3300	3400	3200

Tableau 2

Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant

Superplastifiant	Médafluid (40)
Teneur en extrait sec	40%
Forme	Liquide
Couleur	Marron foncé
PH	7 à 8
Densité	1.16

Un cône de Marsh a été utilisé pour mesurer la fluidité des coulis. Il est muni d'un ajutage cylindrique démontable en partie inférieure du tronc conique. Le diamètre de l'ajutage peut être choisi en se basant sur les propriétés rhéologiques des coulis pour obtenir un temps d'écoulement significatif. En général, il est de l'ordre de 5 mm à 12mm à partir duquel on peut mesurer le temps d'écoulement d'un litre de coulis. Le temps d'écoulement pour un litre d'eau est inférieur à 35 secondes. Un thermomètre à aiguille avec une précision de 0.1°C a été utilisé pour suivre la température des coulis lors des essais. L'aiguille est immergée dans le coulis durant toute la période où la température doit être conservée constante durant le déroulement de l'essai.

2.3. Compositions des coulis de ciment

Une série de coulis est préparée en combinant les deux types de ciment avec le superplastifiant (SP) pour donner deux couples à étudier ; C1-SP, C2-SP. Ces mélanges sont confectionnés avec trois rapports E/C de 0.35, 0.4 et 0.45. Les conditions de températures sont celles du jour où la température fluctue entre 20 et 40°C. Plusieurs dosages en superplastifiant SP ont été utilisés sous une température de 20°C. Le dosage est fixé à 1.2% simulant l'état de saturation dans la plupart des cas observés. Il est retenu pour étudier le comportement à une température supérieure à 20°C. Le tableau 3 donne les compositions des différents coulis pour lesquels des mesures des temps d'écoulement ont été effectuées.

Tableau 3

Paramètres d'essais de la fluidité des coulis

Variation des paramètres d'essais			
Température	E/C	Superplastifiant(%)	Ciment
20°C	0.35, 0.4, 0.45	0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%, 1.2%, 1.5%, 2%	C1, C2
20 à 40°C	0.35, 0.4, 0.45	SP (1.2%)	C1, C2

La procédure de malaxage et le mode d'introduction du superplastifiant utilisé pour fabriquer les coulis sont illustrés dans le tableau 4. Le superplastifiant est ajouté au début du malaxage avec la dernière tranche de l'eau de gâchage qui correspond généralement au début de la période dormante.

Tableau 4

Procédure de malaxage et mode d'introduction du superplastifiant

Malaxeur	Durée	Opérations
Vitesse lente	0-60s	Introduire le Ciment Verser (2/3E)
Vitesse lente	120 s	Verser (1/3E+SP)
Vitesse Rapide	180 s	
	5 min	Préparation de l'essai

3. Résultats et interprétations

3.1. Fluidité à température ambiante

Un couple ciment-superplastifiant est dit compatible lorsqu'à un dosage approprié il atteint une bonne fluidité à 5 minutes et ne subit pas de perte considérable de cette fluidité à 60 minutes. Les couples présentés pour les ciments C1 et C2 dans la fig. 1 témoignent de l'effet joué par le superplastifiant dans l'amélioration de la fluidité de la pâte et de sa compatibilité. En variant le dosage en superplastifiant on s'aperçoit qu'à partir d'un certain point (point de saturation) il n'y a plus d'amélioration de la fluidité. Ce point se situe entre 1 et 1.2% pour les différentes combinaisons. Bien que ce superplastifiant présente une bonne fluidité à 5 minutes, sa fluidité à 60 minutes est rapidement nulle : la pâte durcit pour les faibles dosages et les faibles rapports E/C. On peut noter que pour les deux ciments, le superplastifiant à base naphthalène sulfonate reste incompatible pour différents dosages engendrant une perte de fluidité qui dépasse les 60 secondes pour un E/C égal à 0.4. Pour un rapport E/C de 0.35 et les faibles dosages en superplastifiant, la fluidité n'a pas pu être mesurée à 60 minutes où la pâte se trouve durcie sans aucune possibilité de mesure. Le tableau 5 récapitule les résultats de compatibilité des différents couples étudiés.

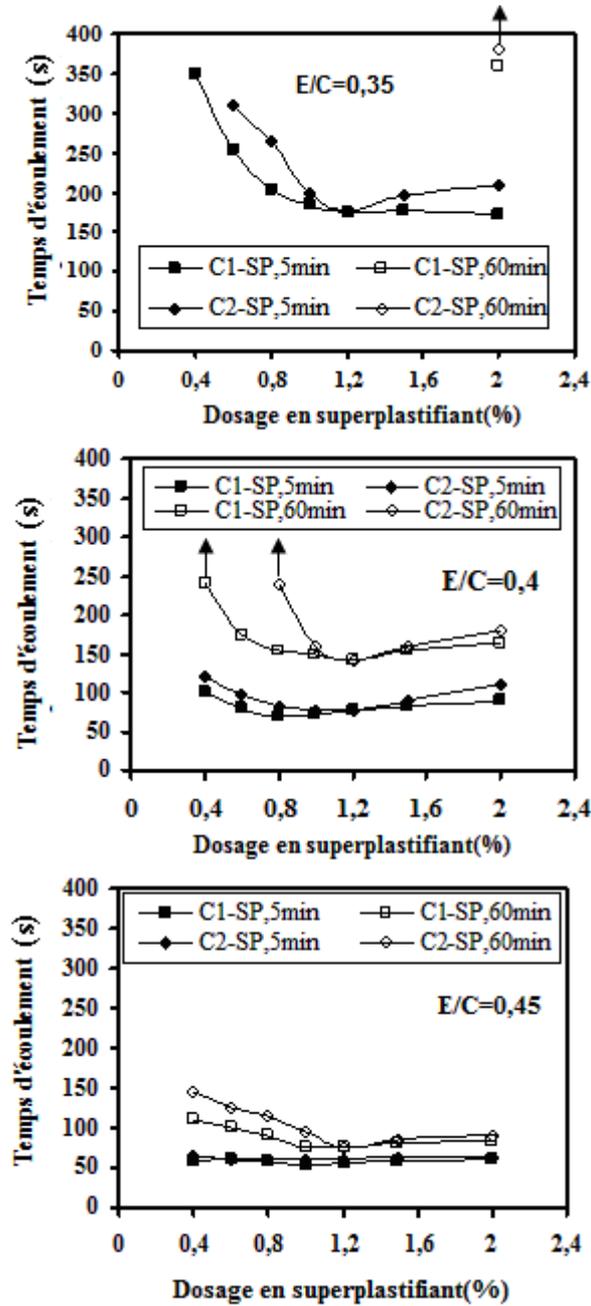


Fig. 1. Variation du temps d'écoulement à 5 et 60 minutes pour différents dosages de superplastifiant SP et différents rapports E/C (T=20°C)

3.2. Fluidité à une température élevée

a) Effet du rapport E/C

La fig. 2 illustre les résultats obtenus pour les différentes combinaisons de ciments et de superplastifiants. Pour les faibles rapports E/C de 0.35, la fluidité est détériorée quelque soit le type de ciment C1 ou C2. Elle a complètement disparu au delà de 35°C. Par contre, pour des pâtes à E/C plus élevé, l'effet de la température est moins

marqué et la fluidité reste pratiquement stable dans la plage des températures utilisées.

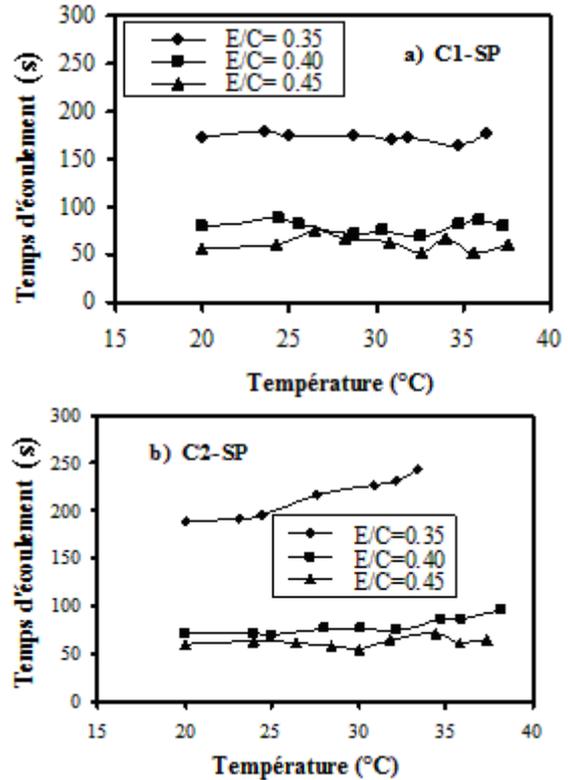


Fig. 2. Variation de la fluidité à 5 minutes en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux ciments C1 et C2.

b) Perte de fluidité

L'efficacité du superplastifiant se manifeste par la conservation de la fluidité d'un coulis pendant le temps nécessaire pour la mise en place. Le superplastifiant est indispensable lorsque les travaux se font sous une température dépassant les 20°C. Pour étudier ce cas, la fig. 3 récapitule les résultats des différences des temps d'écoulement mesurés après 5 et 60 minutes. Les mesures ont été arrêtées après 600 secondes signalant ainsi une pâte durcie ou un arrêt de l'écoulement. Lorsque le superplastifiant est incorporé dans le coulis, la conservation de la fluidité est directement liée au rapport E/C et au type de ciment. Les valeurs importantes des temps d'écoulement témoignent de l'inefficacité de ce produit à des températures élevées et juste au dessus de 25°C. Pour les deux types de ciment la perte de fluidité reste significative au-delà de cette température et le coulis devient rigide (pâte durcie) surtout pour les faibles rapports E/C. Un cas unique est observé où la température a fait diminuer la perte de fluidité pour le ciment pouzzolanique (C2) avec un rapport E/C de 0.45.

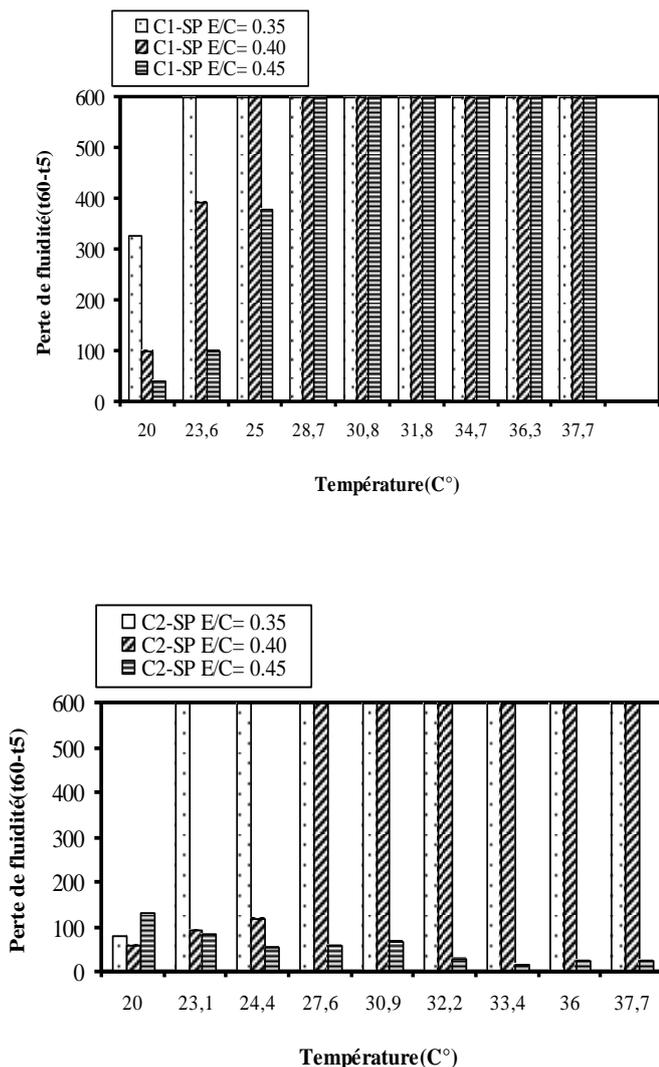


Fig. 3. Perte de fluidité (t_{60-t5}) en fonction de la température pour le ciment C1 et C2.

c) Compatibilité des coulis

Le superplastifiant perd de son efficacité avec certains ciments ou dans certaines conditions lorsque leurs contacts se fait sous des températures supérieures à 20°C. Leurs cas de compatibilité peuvent changer pour des températures supérieures à la température ambiante. La fig. 4 présente le comportement des couples étudiés et leurs fluidités en fonction de la température. Il est impératif, pour les constructions en climat chaud, que le constructeur tienne compte de ces valeurs. Le tableau 5 récapitule les conclusions tirées de ces résultats. Ce superplastifiant reste incompatible avec les deux types de ciments malgré sa bonne fluidité enregistrée à 5 minutes pour des E/C élevés. Son état est intermédiaire pour des températures ambiantes inférieures à 25°C.

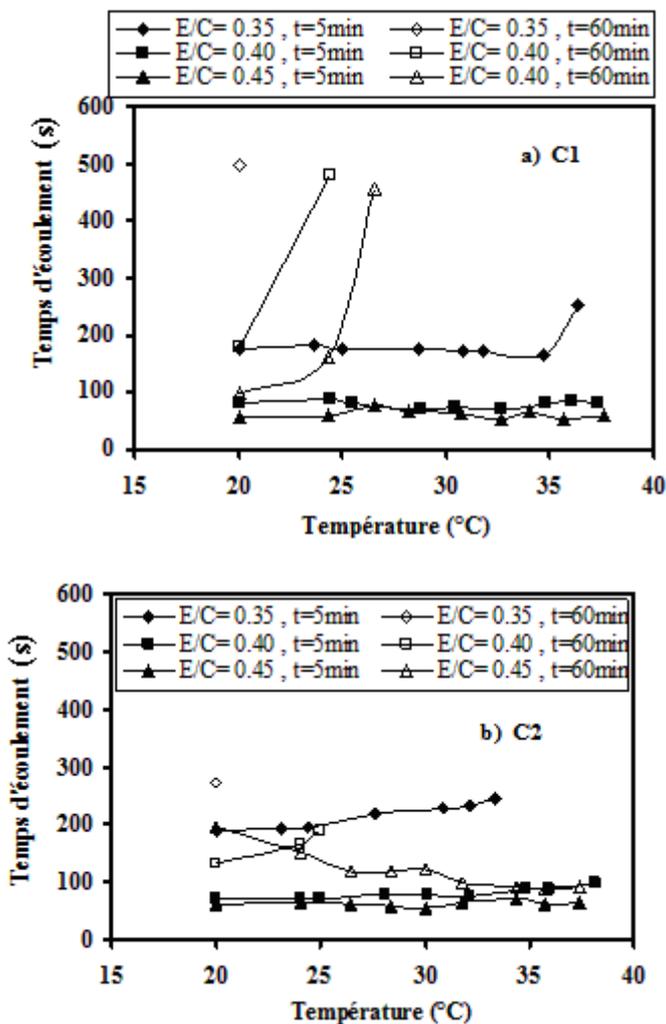


Fig. 4. Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis.

Tableau 5. Résultats obtenus de la compatibilité des couples ciment-SP

Comportement à 20 C°				
Ciment	SP	E/C =0.35	E/C =0.40	E/C =0.45
C1	SP	Incompatible	Intermédiaire	Intermédiaire
C2		Incompatible	Intermédiaire	Intermédiaire
Comportement > 20 C°				
C1	SP	Incompatible	Incompatible	Intermédiaire T<25°C
C2		Incompatible	Incompatible	Intermédiaire

4. Discussions

Le comportement rhéologique des pâtes de ciment par temps chaud se manifeste par une accélération de l'hydratation, une diminution de la quantité d'eau libre et une perte de fluidité. Il est bien démontré dans plusieurs

études que l'élévation de température entraîne une prise accélérée de la pâte [11,12,13] surtout pour des rapports E/C faibles. Les cas observés pour le ciment C1 avec un rapport E/C de 0.35 montre une accélération de l'hydratation accompagnée d'une perte rapide de la fluidité. La présence des superplastifiants dans la composition des coulis entraîne une dispersion des grains et une mise en suspension pendant le temps nécessaire pour la mise en place. D'après plusieurs recherches [11,13], l'élévation de température attribue au superplastifiant un important pouvoir d'adsorption qui fait gagner au ciment une grande fluidité. Ceci peut expliquer la fluidité accrue du ciment C2 avec l'élévation de température avec un rapport E/C de 0.45. Ceci est conforme avec les résultats trouvés par Yamada et al. [14] où la fluidité de la pâte de ciment s'est améliorée avec l'élévation de la température après la consommation de certaines substances notamment les sulfates. Il est bien évident que le type de ciment et sa composition jouent un rôle capital dans l'évolution de la fluidité de la pâte et sa dégradation au cours du temps sous des conditions sévères de températures. Le ciment C2 riche en pouzzolane est plus actif lorsque la température augmente, son hydratation est accélérée et sa fluidité a rapidement disparu. Ceci explique la fluidité difficilement mesurable de ce coulis et les valeurs importantes du temps d'écoulement enregistrées. Par contre le ciment C1, composé d'une partie de calcaire est moins sensible à l'élévation de température et donne dans tous les cas une fluidité mesurable à 5 minutes.

5. Conclusion

Cette étude porte essentiellement sur l'efficacité d'un superplastifiant à base de naphthalène sulfonate en présence d'un ciment composé. Elle teste son efficacité sous des conditions sévères de températures représentant le climat estival réel. L'utilisation de ce type d'adjuvants dans l'intervalle (0.4% jusqu'à 1.2%) réduit la quantité d'eau de gâchage et améliore l'ouvrabilité de la pâte. La présence de superplastifiant au voisinage du dosage de saturation optimisé à 1.2% permet en effet de disperser efficacement les grains de la suspension. Au-delà de cette valeur, aucune amélioration de la fluidité n'est observée.

Le superplastifiant SP présente une perte de fluidité très importante à 60 minutes et parfois se manifestant par une pâte durcie pour les faibles dosages et les faibles valeurs de E/C. Pour les faibles rapports E/C de 0.35, la fluidité a complètement disparue au-delà du seuil de température de 35°C.

Le superplastifiant à base de naphthalène sulfonate perd de son efficacité avec les deux ciments pour un faible rapport E/C de 0.35. Pour des rapports plus élevés son comportement reste intermédiaire sous un seuil de température de 25°C.

Références bibliographiques

- [1] Aïtcin P-C., Jiang S., Kim B-G., 2001, L'interaction ciment/superplastifiant. Cas des polysulfonate, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N° 233, p.87-98.
- [2] Bury M A., Christensen B J., 2002, The role of innovative chemical admixtures in producing selfconsolidating concrete, Proceedings of the first North American conference on the design and use of self-consolidating concrete, 12-13 Novembre, p.141-146.
- [3] Daimon M., Roy D.M., 1978, Rheological properties of cement mixes: methods preliminary experiments and adsorption studies , Cement and Concrete Research, vol. 8, p.753-764.
- [4] Jolicoeur C., Sharman J., Otis N., Lebel A., Simard M.-A., Page M., 1997, The influence of temperature on the rheological properties of super-plasticized cement pastes, 5th International Conference on Superplasticizer and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP-173, p.379- 406.
- [5] Neubauer C.M., Yang M., Jennings H.M., 1998, Interparticle potential and sedimentation Behavior of cement suspension: Effects of admixture, Advanced Cement Based Materials, vol. 8(1), p.17-27.
- [6] Jolicoeur C., Simard M.A., 1998, Chemical admixture-cement interaction: phenomenology and physico-chemical concepts, Cement and Concrete Composites, vol.20, p.87-101.
- [7] Nawa T., Ichiboji H. Kinoshita M., 2000, Influence of temperature on fluidity of cement paste containing superplasticizer with polyethylene oxide graft chains , 6th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, p.195-210.
- [8] Golaszewski J.G., Szwabowski J., 2004, Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars, Cement and Concrete Research, 2004, vol 34, p.235-248.
- [9] Griesser A., 2002, Cement-superplasticizer interactions at ambient temperatures: rheology, phase composition, pore water and heat of hydration of cementitious systems, Thèse de doctorat , Institut de Technologie Fédéral Suisse, 147 p.
- [10] Petit J.Y., Wirquin, E., Khaat, K.H., 2010, Effect of temperature on the rheology of flowable mortars , Cement and Concrete Research, vol. 32, p.43-53.
- [11] Kjellsen K.O., Detwiler, R., Gjörv, O.E., 1991, Development of microstructures in plain cement pastes hydrated at different temperatures, Cement and Concrete Research, vol .21, p.179-189.
- [12] Kjellsen K.O., Detwiler, R., 1992, Reaction kinetics of Portland cement mortars hydrated at different temperatures, Cement and Concrete Research, vol. 22, p.112-120.
- [13] Patel H.H., Bland C.H., Poole A.B., 1995, The microstructure of concrete cured at elevated temperatures, Cement and Concrete Research, vol. 25, p.485-490.
- [14] Yamada.K., Yanagisawa .T., Hanehara .S., 1999, Influence of temperature on the dispersibility of polycarboxilate type superplasticizer for highly fluid concrete, Journal of research of the Taiheiyō Cement Corporation, NO. 137, pp.3-10.