

---

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

M Adjoudj\* - K Ezziane\* - EH Kadri\*\*

\*Laboratoire Géomatériaux, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie

\*\*Laboratoire L2MGC, Université de cergy pontoise , France

[a.mhamed@hotmail.fr](mailto:a.mhamed@hotmail.fr)

---

*RÉSUMÉ. Les superplastifiants sont des produits organiques ajoutés avec des faibles proportions au béton frais et qui permettent de modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Sous des conditions climatiques sévères caractérisées par l'élévation de température, l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains type de ciments et beaucoup plus vite lorsque le bétonnage s'effectue en climat chaud. Cette étude a pour but d'évaluer la perte d'efficacité d'un superplastifiants 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 qu'à des températures élevées, ce superplastifiant a bien conservé sa compatibilité avec le ciment contenant de la pozzoulane naturelle (Zahana). Par contre le ciment avec du calcaire (Chlef) perd sa compatibilité avec ce superplastifiant utilisé dans la plage de température entre 25 et 35°C pour un E/C de 0.35.*

*ABSTRACT. Superplasticizers are an organic product added in small proportions in fresh concrete for modifying the rheological properties for a shorter or longer period. Under severe climatic conditions characterized by elevated temperature, it results from it that the efficiency of some superplasticizers is decreased in the presence of certain blended cements and much more quickly when the concreting is made under hot climate. The aim of this study is to evaluate the loss of efficiency of superplasticizers based on naphthalene sulfonate (PNS) in the presence of blended cement and at high temperature. This will make it possible to select the most compatible couple « cement / superplasticizer ». The results show that, at elevated temperature, this superplasticizer has retained its compatibility with cement containing natural pozzolan (Zahana). On the other hand, cement with limestone powder(Chlef) loses its compatibility with the superplasticizer used in the temperature range between 25 and 35 °C especially for an E/C=35*

*MOTS-CLÉS: superplastifiant, ciment, température, ouvrabilité, rhéologie, cône de Marsh.*

*KEYSWORLD: superplasticizer, cement, temperature, workability, rheology, Marsh cone.*

---

## 1. Introduction

L'apparition des bétons autoplaçants (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) (Bury *et al.*, 2002), (Aïtcin *et al.*, 2001). Les superplastifiants permettent en effet de défloculer les grains de ciment (Jolicoeur *et al.*, 1998); ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains (Daimon *et al.*, 1978) et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à leurs chaînes moléculaires très longues (Neubauer *et al.*, 1998). 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 en faut pour hydrater le ciment. Ceci conduit à fabriquer des bétons à faible rapport E/C mais faciles à mettre en place (Aïtcin *et al.*, 2001).

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 bien 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 l'accélération de l'hydratation. De plus, l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains ciments composés et beaucoup plus vite 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 adjuvantés échappent à cette règle. (Jolicoeur *et al.*, 1997) et (Nawa *et al.*, 2000). observaient que la fluidité de différents ciments suit un comportement non linéaire en fonction de l'augmentation de la température du mortier. En outre, (Golaszewski *et al.*, 2004) 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 *et al.*, 2002) a étudié la viscosité des pâtes de ciment et de mortier confectionnées avec 10 ciments suisses et 3 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 surproduction d'ettringite dans cette plage de température.

En plus, il a été constaté que l'effet de la température est réduit sur l'ouvrabilité des mortiers avec 22% de cendres volantes par rapport à ceux confectionnés avec 6% de fumée de silice (Petit *et al.*, 2010). 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 (Petit *et al.*, 2010). 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.

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 pouzzolane naturelle. L'étude consiste à mesurer le temps d'écoulement d'une même composition sous différentes températures enregistrées durant la période estivale.

## 2. Étude expérimentale

### 2.1. Matériaux utilisés

Deux types de ciments commercialisés sont employés pour cette étude. Un ciment composé (CEM II/A 42.5) noté C1 produit de la cimenterie d'Oued Sly (Chlef) dont l'ajout est le calcaire, et un autre ciment composé (CEM II 42.5) noté C2 produit de la cimenterie de Zahana (Mascara) dont l'ajout est la pouzzolane naturelle. Leurs caractéristiques chimiques et minéralogiques sont présentées dans le tableau 1.

<i>Composition chimique</i>								
Ciment	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	PAF
CEM II/A 42.5 (C1)	22.6	4.20	3.55	62.17	2.19	0.63	0.42	1.84
CEM II 42.5 (C2)	21.74	3.28	2.9	63.7	1.95	1.41	0.65	0.98
<i>Composition minéralogique</i>								
Ciment	C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF	
CEM II/A 42.5 (C1)	41.8		33.3		5.1		10.7	
CEM II 42.5 (C2)	62.3		15.2		3.8		8.8	

**Tableau 1.** Composition chimique et minéralogique des deux types de ciments utilisés.

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

Superplastifiant	Teneur en extrait sec	Forme	Couleur	pH	Densité
<b>Médaplast (40) (SP)</b>	40%	liquide	opaque	7 à 8	1.16

**Tableau 2.** Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant

## 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 basent pratiquement toutes les normes pour la préparation des coulis et mortiers, il est caractérisé par trois vitesses de rotation selon le coulis désiré.

Le cône de Marsh utilisé 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 émergée dans le coulis durant toute la période où la température doit être conservée constate 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 (PNS) 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 1.2% simulant celui de l'état de saturation dans la plupart des cas observés a été retenu pour étudier le comportement sous une température supérieure à 20°C. Le tableau 3 donne les compositions des différents coulis sur lesquels des mesures des temps d'écoulement ont été effectuées

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

**Tableau 3.** Paramètres d'essais de la fluidité des coulis

## 2.4. Procédure expérimentale

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.

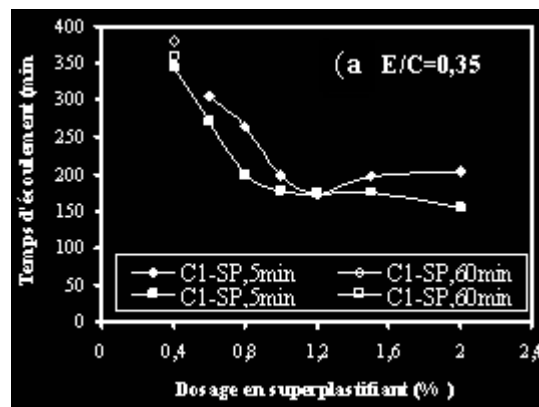
Opérations	Introduire le Ciment	Verser (2/3 E)	Verser (1/3E+SP)		Préparation de l'essai	Procéder l'essai d'écoulement au cône de March à t = 5min
Durée						
Malaxeur	Vitesse lente		Vitesse Lente	Vitesse Rapide		

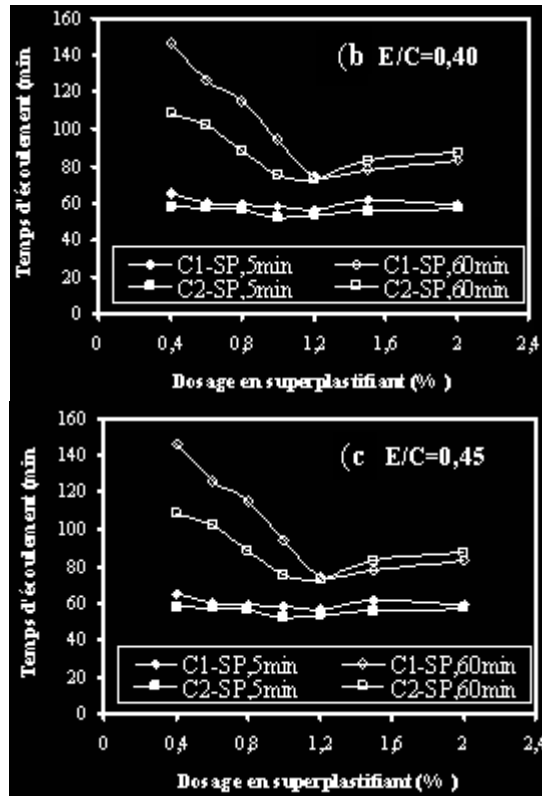
**Tableau 4.** Procédure de malaxage et mode d'introduction du superplastifiant

### 3. Résultats et interprétations

#### 3.1. Fluidité à une 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 importante de cette fluidité à 60 minutes. Les couples présentés pour les ciments C1 et C2 dans la figure 1 témoignent de l'effet joué par le superplastifiant dans l'amélioration de fluidité de la pâte et de sa compatibilité. Ce superplastifiant s'avère compatible avec les deux types de ciment où il engendre, pour un dosage de 1.2% , une fluidité acceptable à 5 minutes et une perte marginale à 60 minutes. Le tableau 6 récapitule les résultats de compatibilité des différents couples étudiés



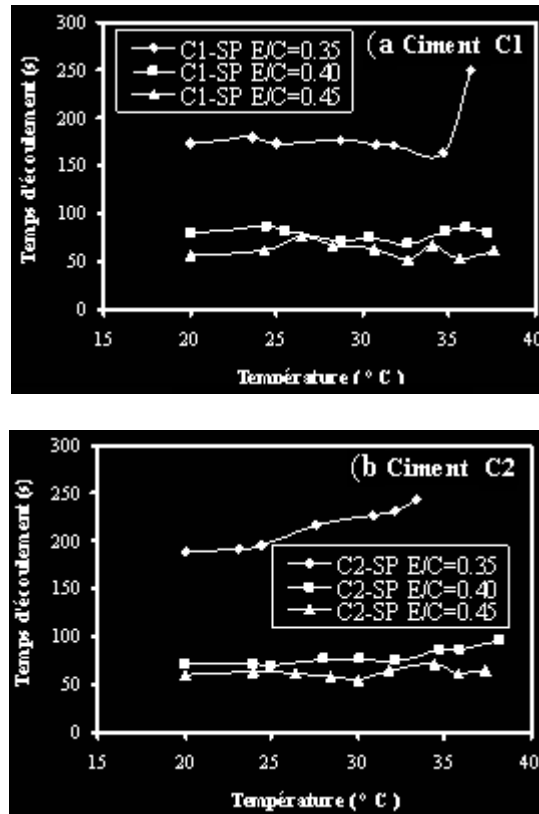


**Figure 1.** Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents dosages de superplastifiant SP et différents rapports E/C

### 3.2. Fluidité à une température élevée

#### 3.2.1. Effet du rapport E/C

Les figures 2 et 3 illustrent 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 dès que la température dépasse 20°C. De même, la fluidité a complètement disparu en dépassant le seuil de température de 35°C. Par contre, pour des pâtes à E/C élevé, l'effet de la température est moins marquant et la fluidité reste pratiquement stable dans la plage des températures mesurées.



**Figure 3.** Variation de la fluidité à 5 minutes en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux ciment (C1, C2)

### 3.2.2. 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 d'autant plus lorsque les travaux se font sous une température dépassant les 20°C. Pour étudier ce cas, la figure 4 récapitule les résultats des différences des temps d'écoulement mesurés à 5 et à 60 minutes. 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. On s'aperçoit les valeurs importantes des temps d'écoulement qui témoigne de l'inefficacité de ce produit sous des températures élevées et même 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 surtout pour les faibles rapports E/C. Un cas unique est observé où la température a fait diminuer la perte de fluidité.

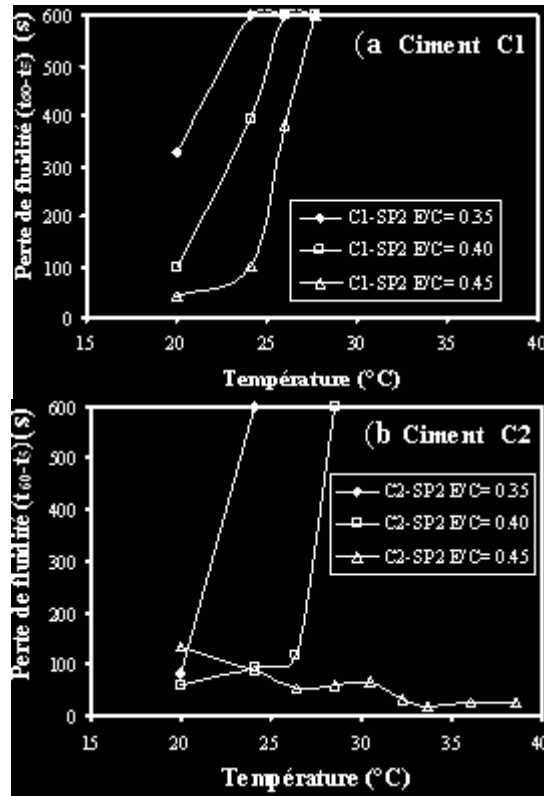
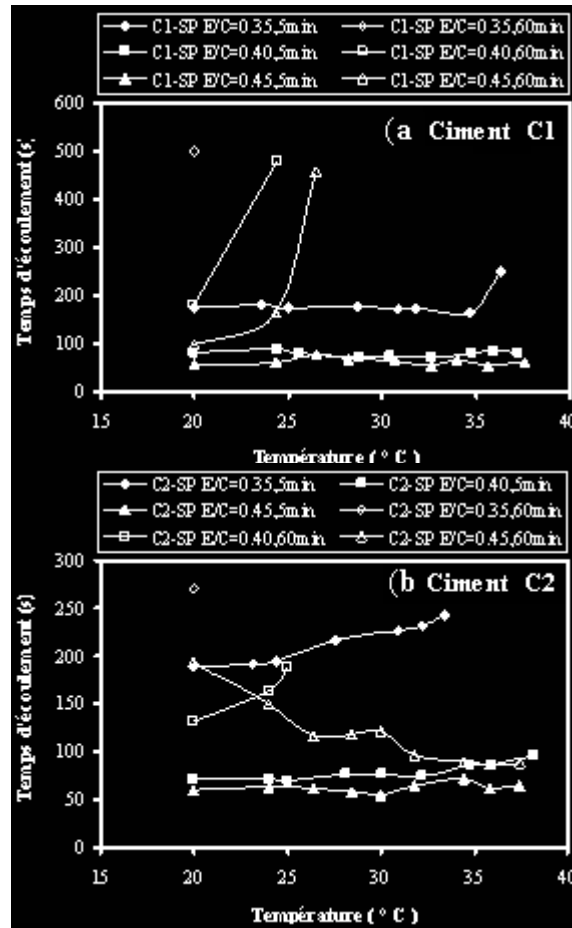


Figure 4. Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux types de Ciments

### 3.3. Compatibilité des couples

Certains couples de ciment et de superplastifiant perdent leurs efficacités lorsque leurs contacts se fait sous des températures supérieures à 20°C. Leurs cas de compatibilité peuvent changer en attribuant au coulis résultant un comportement différent à celui sous une température ambiante. Les figures 5 et 6 présentent le comportement des couples étudiés et leurs fluidités lorsque la température fluctue dans la plage annuelle de variation. On s'aperçoit que pour avoir un coulis stable sur la plage de variation de températures, la sélection de sa composition doit occuper un intérêt particulier chez le constructeur en climat chaud. Le tableau 5 récapitule les conclusions tirées de ces résultats d'où le ciment C1 perd sa compatibilité avec le superplastifiant utilisé dans la plage de température entre 25 et 35°C pour un E/C de 0.35





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

Comportement à 20 C°				
Ciment	Superplastifiant	E/C =0.35	E/C =0.40	E/C =0.45
Chlef C1	SP	Compatible	Compatible	Compatible
Zahana C2		Compatible	Compatible	Compatible
Comportement > 20 C°				
Chlef C1	SP	Incompatible	Incompatible	Incompatible
Zahana C2		Incompatible	Incompatible	Intermédiaire (T>35°)

**Tableau 5.** Résultats obtenus sur la compatibilité des couples ciment-superplastifiant.

## 4. Discussions

Le comportement rhéologique des pâtes de ciment dans un climat chaud se manifeste par un gain de rigidité très rapide dû à une accélération de l'hydratation des grains de ciment. Cette hydratation accrue donne lieu à une perte de fluidité, une diminution de la quantité d'eau libre et moins de mobilité des hydrates formés. Il est bien démontré dans plusieurs études que l'élévation de température entraîne une prise accélérée de la pâte (Kjellsen *et al.*, 1991), (Kjellsen *et al.*, 1992) et (Patel *et al.*, 1995) surtout pour des rapport E/C faibles. Les cas observés pour le ciment C1 à un rapport E/C de 0.35 montre une accélération de l'hydratation accompagnée par 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 (Kjellsen *et al.*, 1991), (Patel *et al.*, 1995) , l'élévation de température attribue au superplastifiant un important pouvoir d'adsorption qui fait gagner au ciment une grande fluidité. Il s'avère que les résultats obtenus pour des E/C élevés et surtout pour le superplastifiant utilisé sont générés par la forte adsorption de ce produit sous des conditions sévères de température.

Il 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 pozzolane est plus actif lorsque la température monte, son hydratation est plus accélérée et sa fluidité est rapidement disparue. 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 en présence d'un ciment composé. Elle teste son efficacité sous des conditions sévères de températures représentant le climat estival réel en Algérie et particulièrement dans la région de chlef. Les résultats remarquables de cette étude sont résumés dans les points suivants :

- L'essai au cône de Marsh a permis de constater l'influence bénéfique de l'ajout du superplastifiant sur la fluidité de la pâte de ciment.
- 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 (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.
- Sous une température ambiante de 20°C, l'effet du type de ciment disparaît en augmentant le rapport E/C, et les différents résultats donnent une fluidité presque identique indépendamment du dosage de superplastifiant.
- Pour un rapport E/C faible égal à 0.35, les résultats montrent qu'on obtient une pâte durcie avec le superplastifiant SP quelque soit son dosage.
- A des températures élevées, le superplastifiant à base de naphthalène sulfonate est totalement incompatible avec les deux types de ciment même sous certaines conditions de température et de E/C.
- le superplastifiant SP présente une perte de fluidité à 60 minutes très importante 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 est complètement disparue en présence du superplastifiant SP en dépassant le seuil de température de 35°C.

## 6. Bibliographie

- Aïtcin P-C., Jiang S., Kim B-G., « L'interaction ciment/superplastifiant. Cas des polysulfonates », *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 233, 2001, p. 87-98.
- Bury, Christensen, «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, 2002, p. 141-146.
- Daimon M., Roy D.M., « Rheological properties of cement mixes: methods preliminary experiments and adsorption studies », *Cement and Concrete Research*, vol. 8, 1978, p. 753-764.

- Jolicoeur C., Sharman J., Otis N., Lebel A., Simard M.-A., Page M., «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, 1997, p. 379- 406.
- Jolicoeur C., Simard M.A., «Chemical admixture-cement interaction: phenomenology and physico-chemical concepts», *Cement and Concrete Composites*, vol.20, 1998, p. 87-101.
- Heikal M., Morsy M.S., Aiad I., « Effect of treatment temperature on the early hydration characteristics of superplasticized silica fume blended cement pastes », *Cement and Concrete Research*, vol 35, 2005, p. 680-687.
- Golaszewki J.G., Szwabowski J., « Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars », *Cement and Concrete Research*, 2004, vol 34, p 235-248
- Griesser A., «Cement-superplasticizer interactions at ambient temperatures: rheology, phase composition, pore water and heat of hydration of cementitious systems » thèse de doctorat , l'Institut de Technologie Fédéral Suisse, 2002.
- Kjellsen K.O., Detwiler, R., Gjörv, O.E., «Development of microstructures in plain cement pastes hydrated at different temperatures » *Cement and Concrete Research*, vol .21, n°1, 1991, p.179-189.
- Kjellsen K.O., Detwiler, R. «Reaction kinetics of Portland cement mortars hydrated at different temperatures », *Cement and Concrete Research*, vol. 22, 1992, p.112-120.
- Petit J.Y., Wirquin, E., Khaat, K.H., «Effect of temperature on the rheology of flowable mortars » , *Cement and Concrete Research*, vol. 32, 2010, p. 43-53.
- Patel H.H., Bland C.H., Poole A.B., «The microstructure of concrete cured at elevated temperatures », *Cement and Concrete Research*, vol. 25, 1995, p. 485-490.
- Nawa T., Ichiboji H., Kinoshita M., «Influence of temperature on fluidity of cement paste containing superplasticizer with polyethylene oxide graft chains », *In 6th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, 2000, p 195-210.
- Neubauer C.M., Yang M., Jennings H.M., «Interparticle potential and sedimentation Behavior of cement suspension: Effects of admixture», *Advanced Cement Based Materials*, vol. 8(1), 1998, p. 17-27.