

PERTE D'EFFICACITE D'UN SUPERPLASTIFIANT EN PRESENCE D'UN CIMENT COMPOSE ET SOUS UNE TEMPERATURE ELEVEE

ADJOU DJ M., EZZIANE K.

Laboratoire LAG, Université Hassiba Benbouali Chlef, a.mhamed@hotmail.fr

RESUME

Les superplastifiants sont des produits organiques ajoutés à de faibles proportions (0.2 à 2 %) 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 des facteurs variables à savoir l'élévation de température, l'humidité relative, l'ensoleillement, il en résulte que l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains ciments composés et beaucoup plus vite lorsque le bétonnage s'effectue sous haute température. Cette étude a pour but d'évaluer la perte d'efficacité d'un superplastifiant 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, à des températures élevées, le superplastifiant à base de résines mélamines (PMS) a bien conservé sa compatibilité avec le ciment de Chlef même pour des faibles valeurs de E/C (E/C=0.35). Par contre le superplastifiant à base de naphthalène sulfonate (PNS) est totalement incompatible avec le même type de ciment utilisé et autant plus sous certaines conditions de température sévères et des faibles rapports E/C.

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

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) [1,2]. Les superplastifiants permettent en effet de défloculer les grains de ciment. Ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. 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, à faible rapport E/C même avec moins d'eau qu'il en faut pour hydrater le ciment, mais faciles à mettre en place [2].

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 sous haute température.

Cependant, il est bien connu que l'élévation de température entraîne une baisse rapide de fluidité même si certains ciments adjuvés échappent à cette règle. Jolicoeur et Nawa [3,4] observent que la fluidité de différents ciments suit un comportement non linéaire avec l'augmentation de la température du mortier. En outre, Golaszewki et Szwabowski [5] observent 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 [6]. Griesser [7] 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.

D'autre part, 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 [8]. 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 [8]. 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 ($T > 20^{\circ}\text{C}$) sur l'efficacité de deux superplastifiants en présence d'un ciment au calcaire fabriquée par la cimenterie de Chlef.

2. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

2.1. Matériaux utilisés

2.1.1. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un Ciment Portland Composé (CPJ CEM II/A 42.5) noté C produit de la cimenterie d'Oued Sly (Chlef) dont l'ajout est le calcaire. La composition chimique et minéralogique du ciment utilisé est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique du ciment C de Chlef

Composition chimique (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	PAF
	22.60	4.20	3.55	62.17	2.19	0.63	0.42		1.84
Composition minéralogique (%)	C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		
	41.8		33.3		5.1		10.7		
SSB cm ² /g	3700								

2.1.2. Superplastifiant

Deux types de superplastifiants ont été utilisés, ils sont fournis par l'entreprise GRANITEX et commercialisés sous les noms : Médaplast (40) à base de résines mélamines noté SP1; et le Médafluid (40) à base de naphthalène sulfonate noté SP2, le tableau 2 présente quelques caractéristiques de ces deux produits.

Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques des superplastifiants

Superplastifiant	Médaplast (40) (SP1)	Médafluid (40) (SP2)
Teneur en extrait sec	40	40
Forme	liquide	liquide
Couleur	opaque	marron foncé
PH	7 à 8	7 à 8
Densité	1.16	1.16 ± 0.01

2.1.3. Eau de gâchage

Pour confectionner les coulis, on a utilisé l'eau potable du robinet sans passer par l'analyse chimique et on a admis qu'elle était propre à la consommation et qu'elle renferme toutes les prescriptions de la norme P18-303 [9] pour confectionner un coulis de ciment.

2.2. Matériels utilisés

Un matériel simple à été utilisé pour mesurer la fluidité des coulis basé sur le cône de Marsh, un malaxeur, un thermomètre et un chronomètre. Les figures 1, 2, 3, présentent une description de ce matériel.



Figure 1: Malaxeur de type Hobart



Figure 2: Cône de Marsh



Figure 3: Thermomètre

2.3. Compositions des coulis de ciment

Une série de coulis est préparée en combinant le ciment de Chlef C avec les deux types de superplastifiants pour donner deux couples à étudier. Ces combinaisons représentent les deux mélanges contenant C-SP1, C-SP2, le dosage en superplastifiant est de 1.2% simulant celui de l'état de saturation dans la plus part des cas observés. Ces mélanges sont confectionnés par 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. Le tableau 3 donne les compositions des différents coulis sur lesquels des mesures des temps d'écoulement ont été effectuées

Tableau 3 : Paramètres d'essais de la fluidité des coulis sous température élevée

Variation des paramètres d'essais			
Température	E/C	Superplastifiant	Ciment
20 à 40°C	0.35	SP1 (1.2%) SP2 (1.2%)	C1
	0.4		
	0.45		

2.4. Procédure expérimentale

La procédure de malaxage et le mode d'introduction de l'adjuvant utilisé pour fabriquer les coulis sont illustrés dans le tableau 4. L'adjuvant est ajouté avec la dernière tranche de l'eau de gâchage qui correspond généralement au début de la période dormante, deux vitesses de rotation sont employées afin d'avoir un mélange bien homogène.

Tableau 4 : Procédure de malaxage et mode d'introduction de l'adjuvant

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		

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. Fluidité à 5 minutes

3.1.1. Effet du type de SP

La fluidité du coulis à 5 minutes est largement influencée par le type de superplastifiant. D'où on aperçoit, sur la figure 4, une légère fluctuation avec l'élévation de la température. Pour le ciment utilisé, les deux superplastifiants présentent une petite augmentation du temps d'écoulement lorsque la température croît de 20 à 25°C, au-delà de cette température les deux superplastifiant enregistrent une amélioration de la fluidité jusqu'à une température de 33°C. Pour des températures supérieures, le temps d'écoulement du superplastifiant SP2 augmente d'une façon remarquable par contre celui de SP1 reste stable.

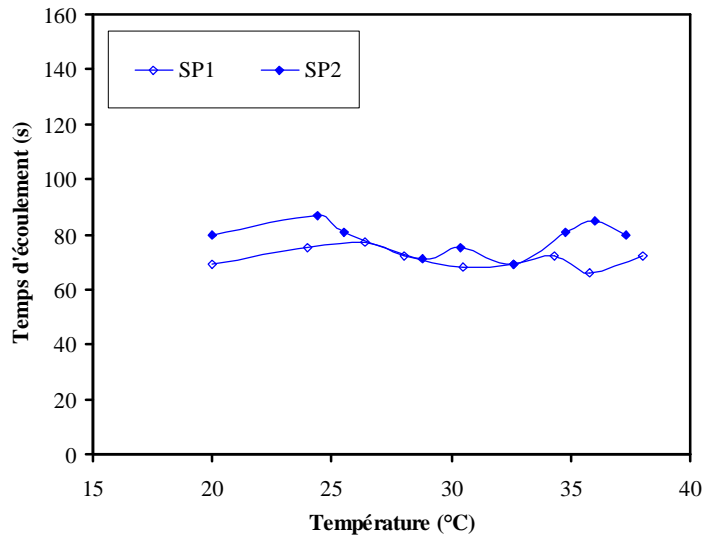


Figure 4: Variation de la fluidité à 5 minutes pour le ciment C et les deux types de superplastifiants en fonction de la température (E/C=0.4).

3.1.2. Effet du rapport E/C

Les figures 5-a et 5-b 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 est complètement disparue en présence du superplastifiant SP2 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.

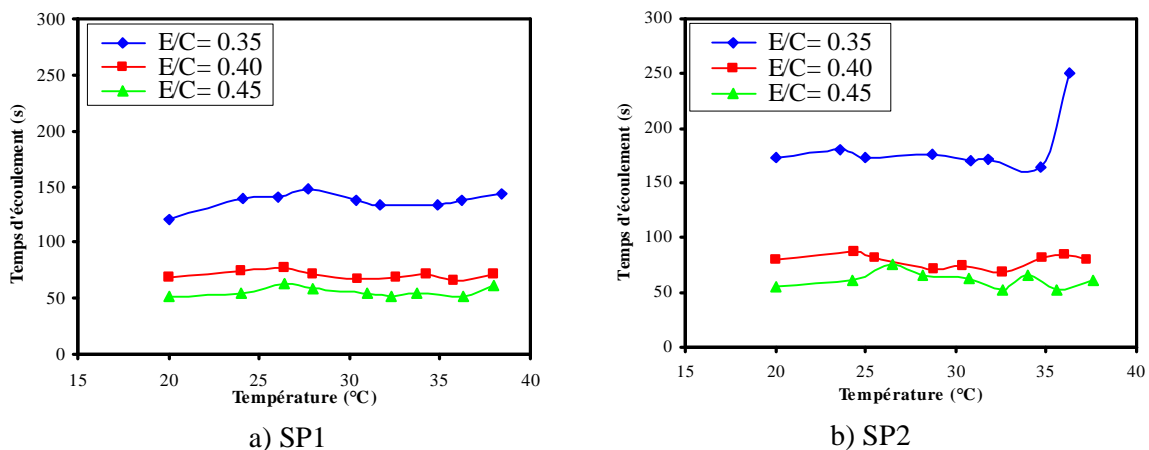


Figure 5: Variation de la fluidité à 5 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température.

3.2. Fluidité à 60 minutes

A 60 minutes après le premier contact avec de l'eau, la pâte confectionnée présente une fluidité liée au type de superplastifiant. La figure 6 montre les résultats des temps d'écoulement mesurés après 60 minutes du malaxage des coulis conservés sous une température constante durant l'essai. Avec le SP1, l'effet de la température mesurée sur le coulis, possède peu d'influence sur la fluidité à l'exception des faibles rapports E/C. Pour un E/C de 0.35, une augmentation du temps d'écoulement de 30 secondes est enregistrée dès que la température dépasse les 20°C ensuite la fluidité reste pratiquement constante.

Avec le SP2, l'effet de la température sur la fluidité du coulis est très significatif caractérisé par une montée rapide de la rigidité de la pâte. La fluidité devient immesurable dès que la température dépasse 25°C où le rapport E/C prend la valeur de 0.35.

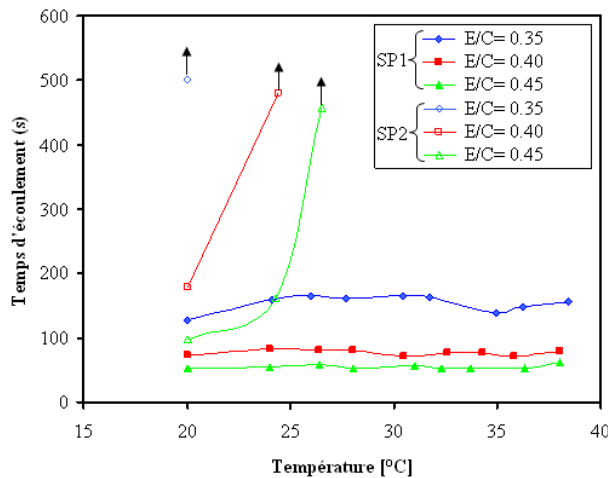


Figure 6 : Variation de la fluidité à 60 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de superplastifiant en fonction de la température

3.3. Pert 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 et autant plus lorsque les travaux se font sous une température dépassant les 20°C. Pour étudier ce cas, les figures 7 et 8 récapitulent les résultats des différences des temps d'écoulement mesurés à 5 et à 60 minutes. Lorsque le superplastifiant SP1 est incorporé dans le coulis, la conservation de la fluidité est directement liée au rapport E/C. La figure 7 montre que pour un rapport E/C de 0.35, la perte de fluidité augmente de 20 secondes lorsque la température passe de 20 à 30°C et au-delà la perte reste de l'ordre de celle à 20°C. Lorsque le rapport E/C augmente, la perte de fluidité reste pratiquement similaire à celle de 20°C avec un écart de 7 secondes pour un rapport E/C de 0.4 et une amélioration de 6 secondes pour un E/C de 0.45 et des températures moyennes de 27°C.

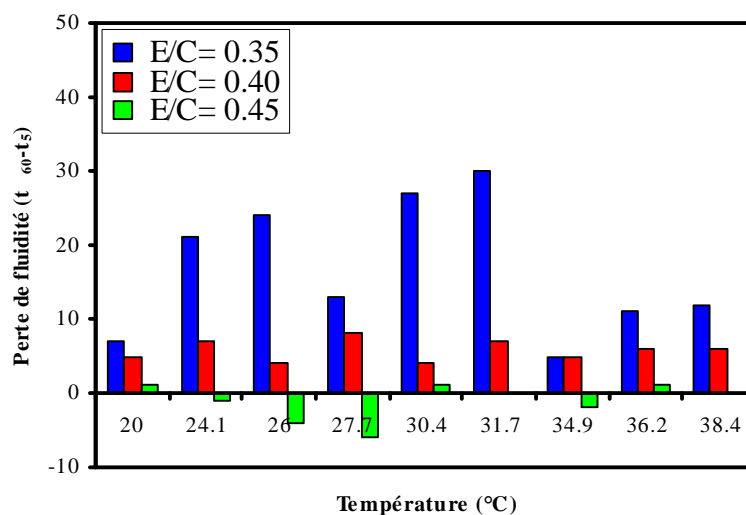


Figure 7 : Perte de fluidité ($t_{60}-t_5$) en fonction de la température ambiante (SP1)

Par contre l'élévation de la température s'avère avoir un effet néfaste sur la perte de fluidité lors de la présence du superplastifiant SP2. La figure 8 présente la différence de la fluidité entre 5 et 60 minutes

d'où les valeurs importantes témoignent de l'inefficacité de ce produit sous des températures élevées et même au dessus de 25°C.

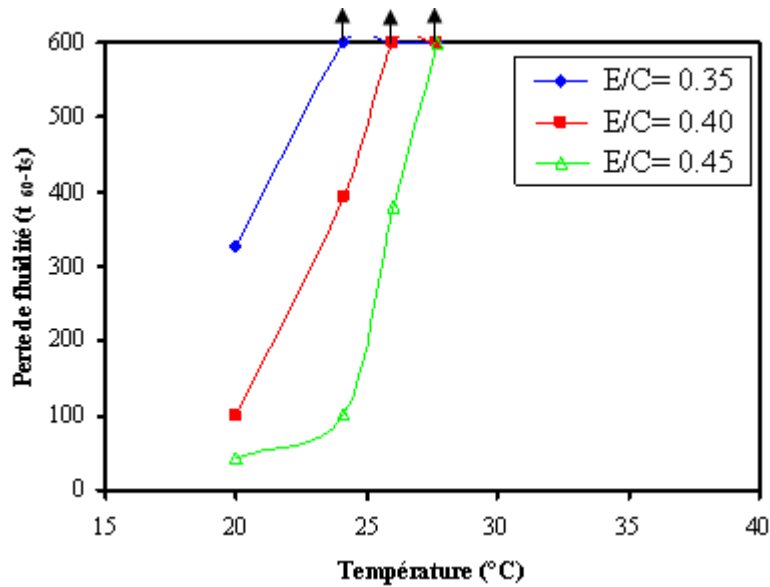


Figure 8 : Perte de fluidité (t_{60-t_5}) en fonction de la température ambiante (SP2)

3.4. Compatibilité des coulis

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 9-a, 9-b, présentent le comportement des couples étudiés et leurs fluidités lorsque la température fluctue dans la plage de la variation des températures annuelles. 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 SP1 dans la plage de température entre 25 et 35°C pour un E/C de 0.35 et devient compatible avec le SP2 pour un E/C de 0.45 lorsque la température dépasse 25°C.

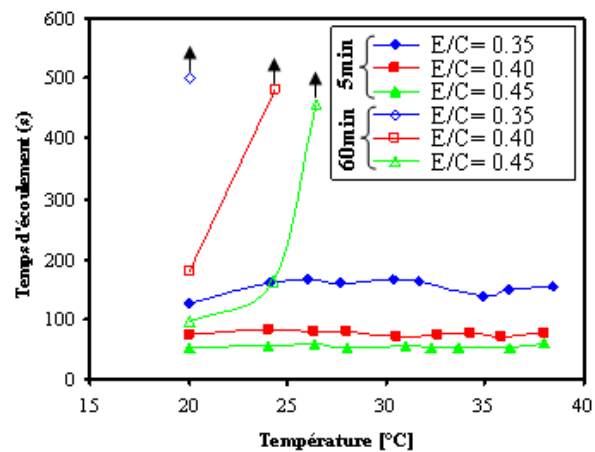
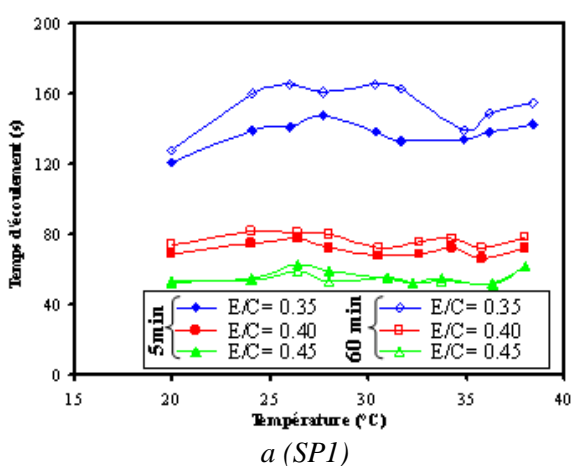


Figure 9 : Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis.

b(S
P2)

Tableau 5 : Compatibilité des couples ciment-superplastifiant

Ciment	Superplastifiant	E/C =0.35	E/C =0.40	E/C =0.45
Chlef C1	SP1	Incompatible (25 à 35°C)	Compatible	Compatible
	SP2	Incompatible	Incompatible	Incompatible

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 la température entraîne une prise accélérée de la pâte [10, 11, 12] surtout pour des faibles rapports E/C. Les cas observés pour le ciment étudié avec 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 [10, 11, 12], 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 SP1 sont générés par la forte adsorption de ce produit sous des conditions sévères de température. Ceci a conservé une fluidité pratiquement constante pour un E/C de 0.45 et des cas de compatibilité même avec un E/C de 0.35.

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 réel régnant dans la région de Chlef en période estivale. Les résultats remarquables de cette étude sont résumés dans les points suivants :

- L'élévation de température dans l'intervalle (20°C jusqu'à 25°C) attribue au superplastifiant un important pouvoir d'adsorption qui fait gagner au ciment une grande fluidité.
- A des températures élevées, le SP1 a bien conservé sa compatibilité avec le ciment de Chlef même si pour un faible rapport E/C (E/C=0.35). Par contre le SP2 est totalement incompatible avec le même type de ciment utilisé même sous certaines conditions de température et de E/C.
- Pour les faibles rapports E/C de 0.35, la fluidité est complètement disparue en présence du superplastifiant SP2 en dépassant le seuil de température de 35°C.

6. BIBLIOGRAPHIE

1. 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, Chicago, pp 141-146.
2. Aïtcin et al., *L'interaction ciment / superplastifiant. Cas des polysulfonates*, Bulletins des laboratoires des Ponts et Chaussées, Juillet-Août 2001, n° 233, pp 87-98.
3. Jolicoeur, C., et al. "The influence of temperature on the rheological properties of superplasticized cement paste", In 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1997, Rome, pp 379-405.

4. 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, Nice: pp 195-210.
5. Golaszewski, J.G., Szwabowski, J., "*Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars*", Cement and Concrete Research, 2004, vol. 34, pp 235-248
6. Griesser, A., "*Cement-superplasticizer interactions at ambient temperatures: rheology, phase composition, pore water and heat of hydration of cementitious systems*" thèse de doctorat de l'Institut de Technologie Fédéral, Suisse, 2002, 147 p.
7. 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, pp. 680-687.
8. Petit, J.Y., Wirquin, E., Khaat, K.H., "*Effect of temperature on the rheology of flowable mortars*", Cement and Concrete Research, vol. 32, 2010, pp. 43-53.
9. XP P 18-303. Normalisation française: Eau de gâchage pour béton. Août 1999. 16 p.
10. Kjellsen, K.O., Detwiler, R., Gjorv, O.E., "*Development of microstructures in plain cement pastes hydrated at different temperatures*" Cement and Concrete Research, vol. 21, n°1, 1991, pp. 179-189.
11. Kjellsen, K.O., Detwiler, R. "*Reaction kinetics of Portland cement mortars hydrated at different temperatures*", Cement and Concrete Research, vol. 22, 1992, pp. 112-120.
12. Patel, H.H., Bland, C.H., Poole, A.B., "*The microstructure of concrete cured at elevated temperatures*", Cement and Concrete Research, vol. 25, 1995, pp. 485-490.