

## EFFET DE L'ÉLEVATION DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LA FLUIDITÉ D'UN COULIS A BASE D'UN CIMENT COMPOSÉ ADJUVANTE

M'Hamed ADJOUDJ\*, Karim EZZIANE

Laboratoire Géomatériaux, UHB Chlef, Algérie

\* E.mail : a.mhamed@hotmail.fr

**RESUME:** Les superplastifiants sont des produits organiques ajoutés dans de faibles proportions (entre 0.2 et 2 % environ) 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 et l'ensoleillement, il en résulte que l'efficacité de certains superplastifiants se trouve diminuée en présence de certains type de ciments 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 superplastifiants en présence d'un ciment composé à base de calcaire sous une température élevée. Ceci permettra de sélectionner les couples ciment - superplastifiant les plus compatibles. Les résultats montrent qu'à des températures élevées, le superplastifiant à base de naphthalène sulfonate (PNS) a bien conservé sa compatibilité avec le ciment de Zahana même pour des faibles valeurs de E/C (E/C=0.35). Par contre le ciment de Chlef perd sa compatibilité avec le superplastifiant utilisé dans la plage de température entre 25 et 35°C pour un E/C de 0.35.

**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, même avec moins d'eau qu'il en faut pour hydrater le ciment, donc de fabriquer des bétons à faible rapport E/C 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 et une perte rapide de fluidité même si certains ciments adjuvés échappent à cette règle. Jolicoeur et al. [3] et Nawa et al. [4] observent 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 [5] observent une forte influence de l'élévation de la température sur le comportement rhéologique des mortiers accompagné 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.

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 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 d'une même composition sur 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 Portland Composé (CEM II/A 42.5) noté C1 produit de la cimenterie d'Oued Sly (Chlef) dont l'ajout est le calcaire, et le Ciment de Zahana (CEM II 42.5) noté C2 produit de la cimenterie de Zahana (Mascara) dont l'ajout est la pouzzolane naturelle. Leurs caractéristiques chimiques sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1 :** Composition chimique et minéralogiques du ciment de CHLEF et ZAHANA

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	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> A <sub>F</sub>
<b>CEM II/A 42.5 (C1)</b>	22.6	4.20	3.55	62.17	2.19	0.63	0.42	1.84	41.8	33.3	5.1	10.7
<b>CEM II 42.5 (C2)</b>	21.74	3.28	2.9	63.7	1.95	1.41	0.65	0.98	62.3	15.2	3.8	8.8

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

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

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

Pour la confection des 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 au gâchage et qu'elle renferme toutes les prescriptions de la norme P18-303 [10].

## 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 (EN 196-1) [9], 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 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. 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 plus part 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

**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%,2%)	C1, C2
20 à 40°C	0.35, 0.4, 0.45	SP1 (1.2%)	C1, C2

## 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.

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

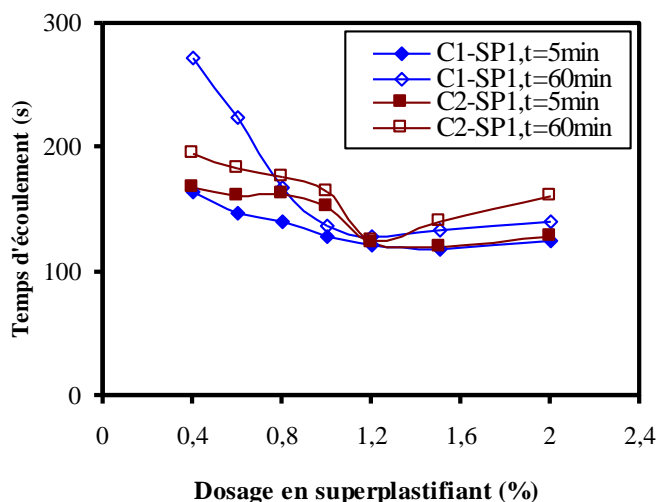
Opérations	Introduire le Ciment	Verser (2/3 E)	Verser (1/3E+SP)		Préparation de l'essai	Procéder l'essai d'écoulement au
------------	----------------------	----------------	------------------	--	------------------------	----------------------------------

Durée					cône de March à t = 5min
	Vitesse lente	Vitesse Lente	Vitesse Rapide		
Malaxeur					

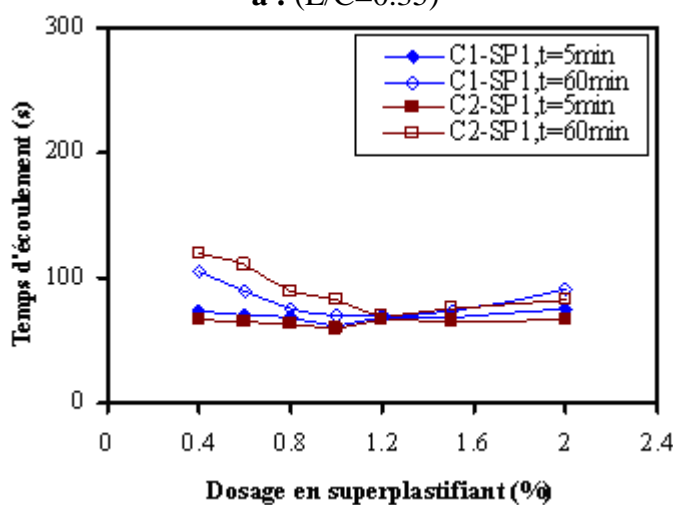
### 3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### 3.1. Fluidité à une température ambiante

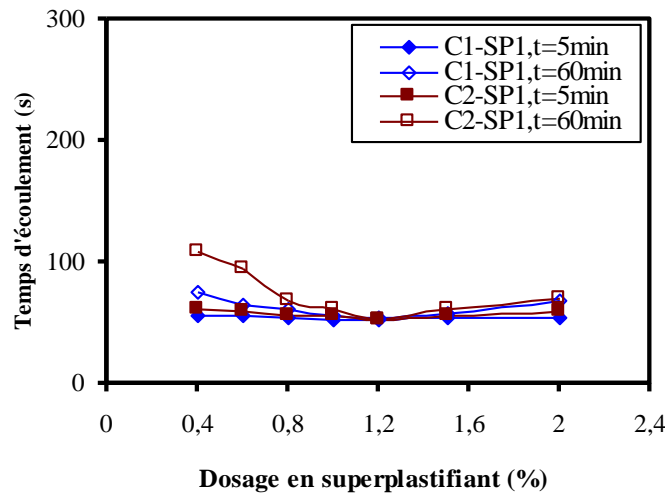
Un couple ciment-superplastifiant est dit compatible lorsqu'à un dosage approprié il atteint une bonne fluidité à 5 minutes et ne subit pas de perte considérable de cette fluidité à 60 minutes. Les couples présentés pour les ciments C1 et C2 dans la figure 1 témoignent de l'effet joué par le superplastifiant 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 une fluidité acceptable à 5 minutes et une perte marginale à 60 minutes. Le tableau 5 récapitule les résultats de compatibilité des différents couples étudiés. On peut noter que pour les deux types de ciments, ce superplastifiant ne génère qu'une perte de 2 secondes au voisinage de son dosage de saturation.



a : (E/C=0.35)



b: (E/C=0.40)



c: (E/C=0.45)

Figure 1: Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents dosages de SP

### 3.2. Fluidité à une température élevée

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

La figure 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 dès que la température dépasse 20°C. De même, la fluidité est complètement disparue 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.

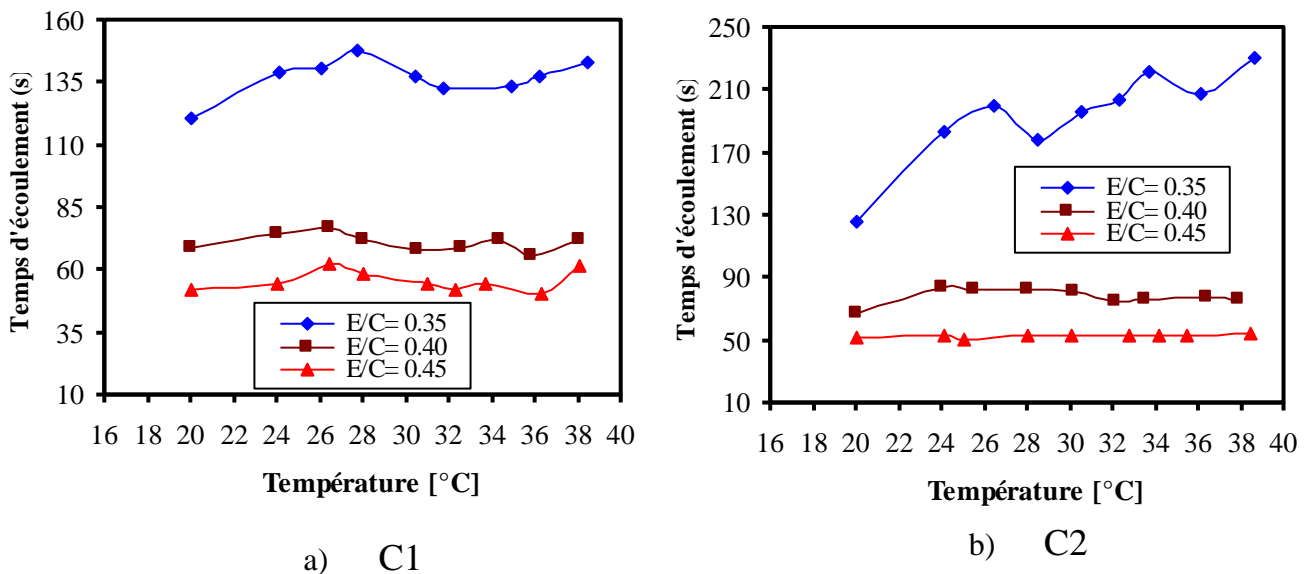
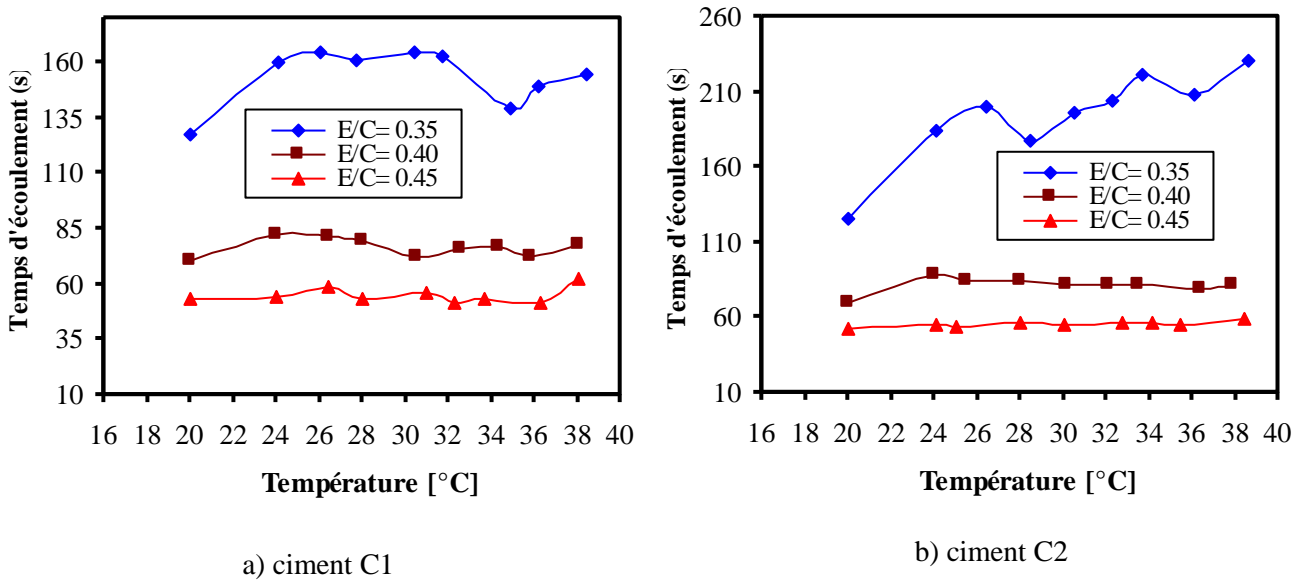


Figure 2: Variation de la fluidité à 5 minutes en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux types de ciments

#### 3.2.2. Fluidité à 60 minutes

A 60 minutes après le premier contact avec de l'eau, la pâte confectionnée avec le ciment C1 présente une fluidité liée au rapport E/C. La figure 3 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 superplastifiant SP utilisé, 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

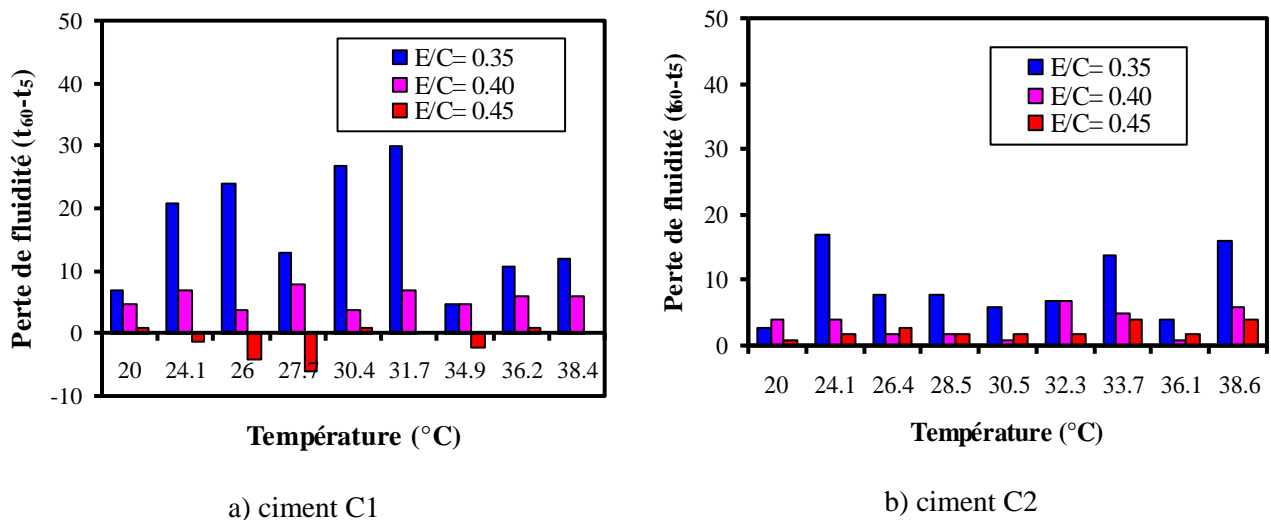
augmentation du temps d'écoulement de 30 secondes est enregistrée dès que la température dépasse les 20°C ensuite la fluidité reste pratiquement constante.



**Figure 3:** Variation de la fluidité à 60 minutes en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux types de Ciments

### 3.2.3. 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, 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. La figure 4 montre que pour un rapport E/C de 0.35, le ciment C1 présente une perte de fluidité qui 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 4 :** Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction de la température pour différents rapports E/C et les deux types de Ciments

### 3.4. 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. 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

**Tableau 5** : Résultats de compatibilité des couples ciment-superplastifiant.

Comportement à 20 C°				
Ciment	Superplastifiant	E/C =0.35	E/C =0.40	E/C =0.45
Chlef C1	SP1	Compatible	Compatible	Compatible
Zahana C2		Compatible	Compatible	Compatible
Comportement > 20 C°				
Chlef C1	SP1	Incompatible (25 à 35°C)	Compatible	Compatible
Zahana C2		Compatible	Compatible	Compatible

## 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 [11, 12, 13] 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 [11, 13], 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. 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.

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 réel. 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) attribuée au superplastifiant un important pouvoir d'adsorption qui fait gagner au ciment une grande fluidité.
- A des températures élevées, le superplastifiant a bien conservé sa compatibilité avec le ciment de Zahana même si pour un E/C faible (E/C=0.35). Par contre le même type de superplastifiant utilisé est totalement incompatible avec le Ciment de Chlef dans la plage de température entre 25 et 35°C pour un E/C de 0.35.
- 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

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., 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. 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, Rome SP-173, 1997, pp. 379- 406.
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. Golaszewki, 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. EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments détermination des résistances mécaniques, mai 1990,24p.
10. XP P 18-303. Normalisation française:Eau de gâchage pour béton. Août 1999.16 p.

11. Kjellsen, K.O., Detwiler, R., GjØrv, 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.
12. 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.
13. 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.