

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة حسيبة بن بوعلي بالشلف  
Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur & علوم الهندسة  
قسم الهندسة المدنية & Département de Génie Civil



# Mémoire de Magister

*Spécialité : Génie Civil*

*Option : Matériaux et Structures*

**Présenté par :**

M'hamed ADJOU DJ

*Ingénieur en Génie civil*

## *Perte d'efficacité d'un superplastifiant en présence d'un ciment composé et sous une température élevée*

Soutenu publiquement le : 14/07/2010

Devant le jury composé de :

Kadri Abdelkader	Professeur	UHB Chlef	Président
Ghrici Mohamed	Maître de conférences A	UHB Chlef	Examineur
Debieb Farid	Maître de conférences A	U. de Médéa	Examineur
Boukendakdji Othmane	Maître Assistant A	U. de Médéa	Examineur
Ezziane Karim	Maître de conférences A	UHB Chlef	Rapporteur

*Promotion : 2010*

## *Remerciements*

Qu'il me soit agréable de remercier sincèrement en cette occasion toute ce qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, ainsi, qu'à tous ceux qui se sont intéressés à cette recherche et qui m'ont aidé à sa concrétisation et en particulier :

A mon directeur de thèse monsieur *Karim EZIANE*, Maître de Conférence à l'université Hassiba Benbouali de Chlef qui a été un soutien irremplaçable dans l'aboutissement de ce travail par ses aides précieuses et ses encouragements permanents.

A monsieur *Kadri Abdelkader* professeur à l'université Hassiba Benbouali de Chlef, Qui a bien voulu accepter de présider ce Jury ; de même monsieurs *Mohamed Ghrici*, Maître de Conférence à l'université Hassiba Benbouali de Chlef, *Farid Debieb*, Maître de Conférence à l'université de Médéa, Othman Boukandakdji, Maître Assistant à l'université de Médéa qui ont acceptés d'examiner ce travail.

A monsieur *Said NOURI*, chef de département de Génie Civil, qui m'a facilité l'accès sans conditions au laboratoire MDC sans oublier Monsieur *Berkane GUIDOUNE*.

A tous les enseignants du département de Génie Civil de l'Université de Chlef.

A mes parents, mes frères, et mes sœurs, qui m'ont soutenus pendant ma recherche.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes collègues *Mourad, Karim*, qui m'ont encouragés et soutenus au cours de la thèse.

A tous mes amis de la promotion de post-graduation (2007 - 2010).

***M. ADJOUDJ***

## ملخص

تعتبر الملدنات القوية من المنتجات العضوية التي تضاف بنسب صغيرة ما بين ( 0.2 و 2%) في الخرسانة الطازجة و التي تمكن من تغيير الخصائص الريولوجية لفترة أطول أو أقصر. وفي ظل ظروف مناخية قاسية، تتميز بارتفاع في درجة الحرارة أو الرطوبة النسبية أو الشمس المشرقة، ينتج عن ذلك نقص فعالية بعض الملدنات القوية في وجود بعض أنواع الأسمنت المركب ، و يزداد نقص فعاليتها خاصة عند خضوع الخرسانة إلى درجة حرارة عالية. تهدف هذه الدراسة لتقييم درجة فعالية الملدن القوي و ذلك في ظل وجود الأسمنت المركب و درجة الحرارة العالية، مما يسمح لنا باختيار الخلطات المثلى (الأسمنت، الملدن القوي) . أثبتت النتائج أنه، عند درجة حرارة مرتفعة، فإن الملدن القوي من نوع (SMP) يحفظ توافقه مع نوعي الأسمنت المركب حتى في وجود نسبة ضعيفة جدا من (E/C). في حين أن الملدن القوي من نوع (PNS) يفقد كلياً توافقه مع نوعي الأسمنت بالرغم من وجوده في درجة حرارة و نسبة (E/C) معينة.

**مفتاح الكلمات:** الملدن القوية ، الأسمنت، درجة الحرارة، قابلية التشغيل، ريولوجيا، وعاء كون.

## Résumé

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, 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 superplastifiants 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, a des températures élevées, le superplastifiant à base de résines mélamines (PMS) a bien conservé sa compatibilité avec les deux types de ciment même pour des faibles valeurs de E/C (E/C=0.35). Par contre le superplastifiant à base de naphtalène sulfonate (PNS) est totalement incompatible avec les deux types de ciment et autant plus sous certaines conditions de température sévères et des rapports E/C.

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

## Abstract

The superplasticizers are an organic product which added in small proportions (between 0.2 and 2%) in fresh concrete make it possible to modify of them the rheological properties during one more or less long period. Under severe climatic conditions characterizes by variable factors with knowing the elevation of temperature, relative humidity, the sunning, 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 high temperature. The aim of this study is to evaluate the loss of efficiency of a superplasticizers 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, the superplasticizer based on melamine resin (PMS) has retained its compatibility with both types of cement, even if for low W/C (W/C=0.35). On the other hand superplasticizer based on naphtalene sulfonate (PNS) is completely incompatible with the two types of cement under certain conditions of temperature and W/C.

**Keys world:** *superplasticizer, cement, temperature, workability, rheology, Marsh cone.*

# Table des Matières

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I

### Apports des superplastifiants sur le comportement rhéologiques du béton

1.1. Introduction.....	4
1.2. Différents types d'adjuvants .....	5
1.2.1. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement .....	5
1.2.1.1. Accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement .....	5
1.2.1.2. Retardateurs de prise .....	6
1.2.2. Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton .....	7
1.2.2.1. Entraîneurs d'air.....	7
1.2.2.2. Hydrofuges de masse .....	8
1.2.3. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton .....	9
1.2.3.1. Plastifiants réducteurs d'eau .....	9
1.2.3.2. Superplastifiants.....	9
1.3. Différentes classes de superplastifiant .....	11
1.4. Caractéristique d'adsorption des adjuvants .....	12
1.4.1. Effet du type de ciment .....	12
1.4.1.1. Composition chimique du Ciment .....	12
1.4.1.2. Finesse du Ciment .....	14
1.4.1.3. Contenu de sulfates de calcium.....	15
1.4.1.4. Alcalis .....	17
1.4.2. Superplastifiant .....	18
1.4.2.1. Effet du mode d'introduction.....	18
1.4.2.2. Effet du dosage de superplastifiant .....	19
1.4.2.3. Nature chimique (structure moléculaire) .....	20
1.4.2.4. Effet du poids moléculaire du superplastifiant .....	21
1.4.2.5. Contre- ion et impuretés.....	24
1.4.2.6. Effet des produits hydratés.....	25
1.4.2.7. Effet du potentiel Zéta .....	25
1.5. Interactions Ciment-Superplastifiants.....	25
1.5.1. Action de dispersion du superplastifiant.....	27
1.5.1.1 Dispersion par répulsion électrostatique .....	27
1.5.1.2 Dispersion par effet stérique .....	28
1.5.2. Effet sur l'hydratation du ciment. ....	30
1.5.2.1. Effet sur l'hydratation du silicate tricalcique .....	30
1.5.2.2. Effet sur l'hydratation du l'aluminate tricalcique .....	31
1.6. Conclusion .....	32

## Chapitre II

### Effet de la température sur l'interaction ciment- superplastifiant

2.1. Introduction.....	34
2.2. Variation de propriétés rhéologiques .....	34
2.3. Variation de la solubilité des ions.....	37
2.4. Variation de l'hydratation du ciment .....	38
2.5. Variation de l'adsorption du superplastifiant.....	39
2.6. Variation du dosage de saturation.....	39
2.7. Variation de la compatibilité.....	40
2.8. Conclusion .....	40

## Chapitre III

### Essais caractérisant la rhéologie du coulis et du béton

3.1. Introduction.....	42
3.2. Essais sur coulis .....	42
3.2.1. Viscosimètre à cylindres coaxiaux .....	42
3.2.2. Mini cône d'affaissement .....	43
3.2.3. Cône d'écoulement .....	44
3.2.4. Essai de lessivage.....	45
3.2.5. Ressuage forcé .....	46
3.2.6. Comparaison des essais .....	47
3.3. Essai sur béton et mortier.....	49
3.3.1. Maniabilimètre.....	49
3.3.2. Affaissement au cône d'Abrams .....	50
3.3.3. Table à secousses .....	52
3.3.4. Rhéomètre .....	52
3.3.5. Comparaison entre essais.....	53
3.4. Conclusion .....	54

## Chapitre IV

### Matériaux et Méthodes d'essais

4.1. Introduction.....	56
4.2. Condition climatique des essais .....	56
4.2.1. Température .....	57
4.2.2. Humidité relative .....	59
4.3. Matériaux utilisés.....	60
4.3.1. Ciment.....	60
4.3.2. Superplastifiant .....	61
4.3.3. Eau de gâchage .....	61
4.4. Compositions des coulis de ciment.....	61
4.5. Matériels utilisés .....	62
4.5.1. Malaxeur .....	62
4.5.2. Cône de Marsh .....	63
4.5.3. Thermomètre.....	63

4.6. Procédure expérimentale.....	64
4.7. Mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh.....	64
4.8. Déroulement de l'essai.....	65
4.9. Répétitivité des essais .....	67
4.10. Essai de fluidité sous température élevée .....	68
4.11. Essai de fluidité avec additions supplémentaires.....	69
4.12. Conclusion .....	69

## Chapitre V

### Fluidité des coulis sous une température ambiante

5.1. Introduction.....	71
5.2. Fluidité à 5 minutes.....	71
5.2.1. Effet du dosage en SP .....	71
5.2.2. Effet du type de SP .....	72
5.2.3 Effet du type de Ciment .....	74
5.2.4. Effet de E/C .....	76
5.3. Fluidité à 60 min .....	77
5.3.1. Fluidité du ciment C1 .....	77
5.3.2. Fluidité du ciment C2 .....	78
5.4. Perte de Fluidité .....	79
5.5. Compatibilité des coulis.....	82
5.6. Correction des cas d'incompatibilité .....	84
5.7. Discussion .....	85
5.8. Conclusion .....	88

## Chapitre VI

### Fluidité des coulis sous une température élevée

6.1. Introduction.....	91
6.2. Présentation des essais .....	91
6.3. Résultats obtenus .....	91
6.3.1. Fluidité à 5 minutes.....	92
6.3.1.1. Effet du type de SP .....	92
6.3.1.2. Effet du type de ciment .....	93
6.3.1.3. Effet du rapport E/C.....	95
6.3.2. Fluidité à 60 minutes.....	96
6.3.2.1. Fluidité du ciment C1.....	96
6.3.2.2. Fluidité du ciment C2.....	97
6.3.2.3. Pert de fluidité.....	98
6.3.3. Compatibilité des coulis.....	101
6.4. Discussions .....	104
6.5. Conclusion .....	105

Conclusions générales et recommandations .....	107
Références bibliographiques.....	110
Annexes .....	110

## *Liste des figures*

Figure 1-1 : Résistance à la compression, à 16 et à 20 heures, de bétons avec et sans accélérateur [3] .....	6
Figure 1-2: Mécanismes d'action des agents entraîneurs d'air [4]. .....	7
Figure 1-3 : Taux d'absorption en eau pour des mortiers contenant .....	8
Figure 1-4: Action d'utilisations des superplastifiants [6].....	10
Figure 1-5: PMS .....	11
Figure 1-6: PNS.....	11
Figure 1-7: Lignosulfonate modifié .....	11
Figure 1-8: Polycarboxylat.....	11
Figure 1-9: Isothermes d'adsorption d'un superplastifiant de type PNS sur les phases pures de ciment, eau/solide = 0,5 [1].....	13
Figure 1-10: Influence de la surface spécifique du ciment sur le seuil de Cisaillement [22] .....	15
Figure 1-11: Variation de la fluidité d'un coulis pour plusieurs modes d'introduction [36].....	19
Figure 1-12: Effet du dosage du superplastifiant sur le seuil de cisaillement ( $\tau_0$ ) et la viscosité ( $\mu$ ) [42] .	20
Figure 1-13: Variation de l'adsorption du superplastifiant en fonction dosage SP/L. ....	20
w/c=2, T=25°C, temps =15 minutes [7] .....	20
Figure 1-14: Quantité maximum des polystyrènes adsorbée [7] .....	22
Figure 1-15: Augmentation du Potentiel de zêta en fonction du poids moléculaire (pH= 11.5, T = 25°C, temps d'hydratation = 15 mn) [47].....	23
Figure 1-16 : Influence des interactions polynaphtalene/sulfate de calcium sur la prise [57].....	24
Figure 1-17 : Schéma de la structure d'une pâte de ciment a) floculée (sans superplastifiant); b) dispersée (avec superplastifiant) [64].....	26
Figure 1-18 : Variation du Potentiel zêta des particules de ciment en présence de Superplastifiant [72]. .....	27
Figure 1-19 : Schématique de l'adsorption et de la répulsion pour des particules de ciment [73].....	28
Figure 1-20 : Répulsion stériques selon plusieurs degrés d'adsorption [64].....	29
Figure 2-1: Variation du seuil d'écoulement en fonction de la température pour différentes pâtes de ciments [93].....	36
Figure 2-2: Coefficient de viscosité relative en fonction de la température et le dosage en superplastifiant [93].....	36
Figure 2-3: Solubilité du gypse dans l'eau en fonction de la température [98].....	37
Figure 2-4: Concentration des alkalis dans la solution en fonction de la température pour différents types de ciments [93].....	38
Figure 2-5 : Compétition de l'adsorption entre les ions hydroxydes et le superplastifiant sous haute et basse température [1] .....	39
Figure 2-6 : Quantité adsorbée de PMS en fonction du dosage et de la température .....	40
Figure 3-1 : Viscosimètre à cylindres coaxiaux.....	43
Figure 3-2 : Mini cône d'affaissement.....	44
Figure 3-3 : Cône d'écoulement .....	45
Figure 3-4 : Dispositif de l'essai de lessivage .....	46
Figure 3-5 : Appareil utilisé pour mesurer le ressuage forcé.....	47
Figure 3-6 : Maniabilimètre .....	50
Figure 3-7 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams .....	51
Figure 3-8 : Appareil utilisé pour mesurer l'étalement.....	52
Figure 3-9 : Rhéomètre .....	53
Figure 3-10 : Relation entre les essais d'affaissement et de maniabilité [92] .....	54

Figure 3-11 : Relation entre les essais d'affaissement et d'étalement avec la viscosité [93].....	54
Figure 4-1 : Variation journalière des températures durant la période d'essai.....	57
Figure 4-2 : Variation des températures durant les jours de la période d'essai.....	58
Figure 4-3 : Variation des températures durant les jours extrêmes de la période d'essai....	58
Figure 4-4 : Variation journalière de l'humidité relative durant la période d'essai .....	59
Figure 4-5: Malaxeur de type Hobart .....	62
Figure 4-6: Cône de Marsh .....	63
Figure 4-7: Thermomètre.....	63
Figure 4-8: Mode opératoire pour la mesure de fluidité du coulis .....	65
Figure 4-9: Répétitivité d'un essai d'écoulement .....	67
Figure 4-10: Répétitivité d'un essai d'écoulement en fonction de du rapport E/C.....	68
Figure 5-1 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour le ciment C1 (Ciment Chlef) avec différents dosages de superplastifiants (SP1, SP2) .....	71
Figure 5-2 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour le ciment C2 (Ciment Zahana) avec différents dosages de superplastifiants (SP1, SP2) .....	72
Figure 5-3 : Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport E/C=0.35. ....	73
Figure 5-4 : Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport E/C=0.4. ....	73
Figure 5-5 : Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport E/C=0.45 .....	74
Figure 5-6 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour deux types de ciments composés (C1, C2) avec SP1 .....	75
Figure 5-7 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour deux types de ciments composés (C1, C2) avec SP2.....	75
Figure 5-8 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents rapport E/C pour le couple (C1, SP1) .....	76
Figure 5-8 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents rapport E/C pour le couple (C2, SP1) .....	77
Figure 5-10 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosage de SP1 et SP2.....	78
avec le Ciment C1 .....	78
Figure 5-11 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosage de SP1 et SP2 avec le Ciment C2 .....	79
Figure 5-12 : Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction du dosage en superplastifiant (C1-SP1) .....	80
Figure 5-13 : Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction du dosage en superplastifiant (C1-SP2) .....	80
Figure 5-14 : Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction du dosage en superplastifiant (C2-SP1) .....	81
Figure 5-15 : Perte de fluidité ( $t_{60}-t_5$ ) en fonction du dosage en superplastifiant(C2-SP2) .....	82
Figure 5-16 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de superplastifiants(Ciment C1, E/C=0.4).....	83
Figure 5-17 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de superplastifiants(Ciment C2, E/C=0.4).....	83
Figure 5-18 : Variation du temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différentes substitutions par les ajouts minéraux. (Ciment C2, E/C=0.4, SP2=1.2%) .....	85
Figure 6-1: Variation de la fluidité à 5 minutes pour le ciment C1 et les deux types de superplastifiants en fonction de la température (E/C=0.4). ....	92
Figure 6-2: Variation de la fluidité à 5 minutes pour le ciment C2 et les deux types de superplastifiants en fonction de la température(E/C=0.4). ....	93
Figure 6-3: Variation de la fluidité à 5 minutes pour le superplastifiant SP1 et les deux types de ciments en fonction de la température(E/C=0.4).....	94



Figure 6-4: Variation de la fluidité à 5 minutes pour le superplastifiant SP2 et les deux types de ciments en fonction de la température (E/C=0.4).....	94
Figure 6-5: Variation de la fluidité à 5 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de ciments en fonction de la température (SP1).....	95
Figure 6-6: Variation de la fluidité à 5 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de ciments en fonction de la température (SP2).....	96
Figure 6-7: Variation de la fluidité à 60 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de superplastifiant en fonction de la température (C1) .....	97
Figure 6-8: Variation de la fluidité à 60 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de superplastifiant en fonction de la température (C2) .....	98
Figure 6-9 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C1-SP1) .....	99
Figure 6-10 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C2-SP1) ...	99
Figure 6-11 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C1-SP2) .	100
Figure 6-12 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C2-SP2) .	101
Figure 6-13: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C1-SP1).....	102
Figure 6-14: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C2-SP1).....	103
Figure 6-15: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C1-SP2).....	103
Figure 6-16: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C2-SP2).....	104

### *Liste des tableaux*

Tableau 3-1 : Caractéristiques statistiques des essais de caractérisation.....	48
Tableau 3-2 : Classes de consistance vis-à-vis de la durée.....	50
Tableau 3-3 : Classes de consistance vis-à-vis de l'affaissement.....	51
Tableau 3-4 : Plage d'affaissement à spécifier pour différentes applications .....	51
Tableau 4-1 : Composition chimique et minéralogiques des matériaux utilisés .....	60
Tableau 4-2 : Caractéristiques physico-chimiques des superplastifiants.....	61
Tableau 4-3 : Compositions des coulis de ciment à une température ambiante(20°C).....	62
Tableau 4-4 : Procédure de malaxage et mode d'introduction de l'adjuvant .....	64
Tableau 4-5 : Composition des coulis pour essai sous des températures élevées.....	68
Tableau 4-6 : Composition des coulis avec d'autres additions minérales .....	69
Tableau 5-1 : Résultats de compatibilité des couples ciment-superplastifiant. ....	84
Tableau 6-1 : Paramètres d'essais de la fluidité des coulis sous température élevée .....	91
Tableau 6-2 : Compatibilité des couples ciment superplastifiant .....	102

## Liste des symboles

CaO	Oxyde de calcium
SiO <sub>2</sub>	Silice
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumine
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxide de fer
MgO	Oxyde Magnesium
Na <sub>2</sub> O	Oxide de sodium
K <sub>2</sub> O	Oxide de potassium
SO <sub>3</sub>	Trioxide de soufre
C <sub>3</sub> S	Silicate tricalcique (Aalite)
C <sub>2</sub> S	Silicate bicalcique (bélite)
C <sub>3</sub> A	Aluminate tricalcique (célite)
C <sub>4</sub> AF	Alumino-ferrite tétracalcique
CEM I	Ciment portland Artificiel
CEM II	Ciment portland composé
PNS	Poly Naphtalène Sulfonâtes
PMS	Poly Mélamines Sulfonâtes
MLS	Lignosulfonate modifié
PC	Polycarboxylates
Ca (OH) <sub>2</sub>	Chaux
CSH	Silicates de calcium hydratés
$\tau$	Cisaillement
$\tau_0$	Seuil de cisaillement
$\mu$	Viscosité

## Introduction générale

Le béton est un matériau composite dans lequel les granulats (gravier et sable) sont liés par une pâte de ciment hydraté. La quantité d'eau requise pour les réactions d'hydratation représente environ 25% de la masse de ciment. Cependant, une quantité d'eau supplémentaire, au moins le double, est nécessaire afin d'obtenir une ouvrabilité satisfaisante du béton frais lors des opérations de mise en place. A long terme, l'excès d'eau s'évapore, laissant des vides dans le béton. Dans une pâte de ciment Portland de rapport eau/ciment de 0,5, la porosité totale représente entre 25 et 30% du volume total ce qui entraîne une diminution de la résistance mécanique et de la durabilité. Le béton est un matériau dont les performances varient en fonction de sa porosité capillaire et de l'excès d'eau nécessaire à la bonne maniabilité.

Pour diminuer la porosité du béton, il est nécessaire d'améliorer ses performances et de réduire la quantité d'eau de gâchage. Ceci amène à utiliser des superplastifiants qui permettent de réduire considérablement (30% et plus) la quantité d'eau nécessaire et obtenir des propriétés rhéologiques satisfaisantes pour une bonne mise en oeuvre du béton.

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.

Notre étude a pour objectif d'étudier l'effet d'une température ambiante élevée ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ) sur l'efficacité d'un superplastifiant en présence d'un ciment composé. Ceci permet de sélectionner la combinaison (ciment -superplastifiant) la plus efficace et permettre aussi de développer une meilleure utilisation des sous-produits industriels (fumée de silice, cendres volantes, laitiers, etc.) et des ajouts naturels (pozzoulane, calcaire) dans la fabrication du béton. L'incorporation de ces ajouts avec le ciment conduit

à réduire le coût de la production, à éliminer les déchets industriels, à minimiser le dégagement des gaz à effet de serre et à donner au béton de meilleures performances. Dans ce contexte, Cette étude comporte six chapitres distincts.

Le premier chapitre présente une synthèse de travaux et résultats portant sur l'effet des adjuvants organiques sur les propriétés rhéologiques des coulis avec une mise en valeur des facteurs importants leurs affectant. Ensuite on présente l'effet de la température sur la fluidité et la rhéologie des pâtes de ciment dans le deuxième chapitre. Ce chapitre sera suivi d'un troisième chapitre, qui présente les principaux essais utilisés par différents chercheurs pour étudier le comportement visqueux des pâtes et des bétons. Le choix du type d'essai dépend du but poursuivi où l'effet du superplastifiant utilisé sera vite ressenti. Le quatrième chapitre, présente une description détaillée des matériaux et du matériel utilisés en donnant un aperçu sur les techniques expérimentales ainsi que sur la préparation des mélanges et les variables à étudier. Notre travail expérimental s'oriente selon deux axes principaux. Le premier axe développé dans le chapitre cinq, qui s'intéresse sur l'effet des adjuvants organiques (superplastifiant) sur la rhéologie et la stabilité des coulis de ciment. Les coulis préparés ont généralement une température de 20C°. Les propriétés portées dans cette partie sont généralement évaluées à 5 et à 60 minutes après le premier contact du ciment avec de l'eau. Enfin, le second axe de notre travail consiste à suivre l'effet d'une température ambiante élevée sur la fluidité du coulis mesurée au cône de Marsh.

A travers l'analyse de l'ensemble de ce travail, nous tenterons de dégager des conclusions approfondies et des recommandations adéquates afin de mieux cerner l'impact éventuel de l'utilisation des adjuvants organiques dans les matrices cimentaires.

# *Chapitre I*

*Apports des superplastifiants sur le  
comportement rhéologiques  
du béton.*

## 1.1. Introduction

Dès l'apparition de la fabrication du béton à base de ciment Portland, les recherches ont commencé à incorporer des produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On a cherché à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques, la porosité et les conditions de mise en oeuvre. L'action de certains produits reconnus comme accélérateurs et retardateurs de prise ont été étudiés depuis 1881. Entre 1910 et 1920, débuta la commercialisation des hydrofuges et des accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés et qui seront suivis par les antigels et les produits de cure [1].

Les recherches sur l'utilisation des plastifiants débutèrent au Japon vers les années 1950 et les premières applications en 1962. Grâce à l'essor de l'industrie chimique au début des années soixante, les recherches se multiplièrent et les plastifiants se diversifièrent pour aboutir à l'apparition des acides hydrocarboxyliques dans les années cinquante où leur qualité et leur constance de qualité s'améliorèrent sans cesse. Les allemands les découvrirent en 1964, mais ce n'est qu'en 1972, qu'ils commencèrent à les utiliser. D'autres pays suivirent cette évolution ; Etats-Unis (1974), France (1975), Belgique, Suisse, etc. Ces produits deviennent de mieux en mieux adaptés aux besoins de la construction moderne.

Au cours des années soixante, une nouvelle classe de plastifiants, chimiquement différents des réducteurs d'eau déjà utilisés, capables de réduire la teneur en eau jusqu'à 30%, a été développée. Les adjuvants de cette nouvelle classe ont été appelés superplastifiants ou superfluidifiants. Ils ont été introduits pour la première fois dans l'industrie en 1964 au Japon et en Allemagne. Les PNS (*Poly Naphtalène Sulfonâtes*) ont été développés par un groupe de chercheurs japonais et commercialisés pour la première fois en 1963. Les PMS (*Poly Mélamines Sulfonâtes*) ont été développés en Allemagne et introduits dans le marché en 1964. Dans le courant des années 1970, les lignosulfonates ont été améliorés en traitant le produit brut afin de retirer toutes les impuretés et en sélectionnant la fraction de masse molaires la plus élevée.

Une nouvelle famille de superplastifiants est apparue au début des années quatre vingt ; les polyacrylates et les polycarboxylates. Ces copolymères sont synthétisés à partir de monomères d'acides acryliques et d'esters d'acrylates. Leurs performances dépendent de la nature et des proportions relatives des différents monomères utilisés lors de leur synthèse. Ces superplastifiants ont fait l'objet de nombreuses études durant ces dix dernières années [1].

## ***1.2. Différents types d'adjuvants***

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant la mise en oeuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci.

La norme NF EN 934-2 [2] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement ou retardateurs de prise ;
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières: entraîneurs d'air, générateurs de gaz ou hydrofuges de masse.
- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants-réducteurs d'eau, superplastifiants (anciennement appelés fluidifiants) ;

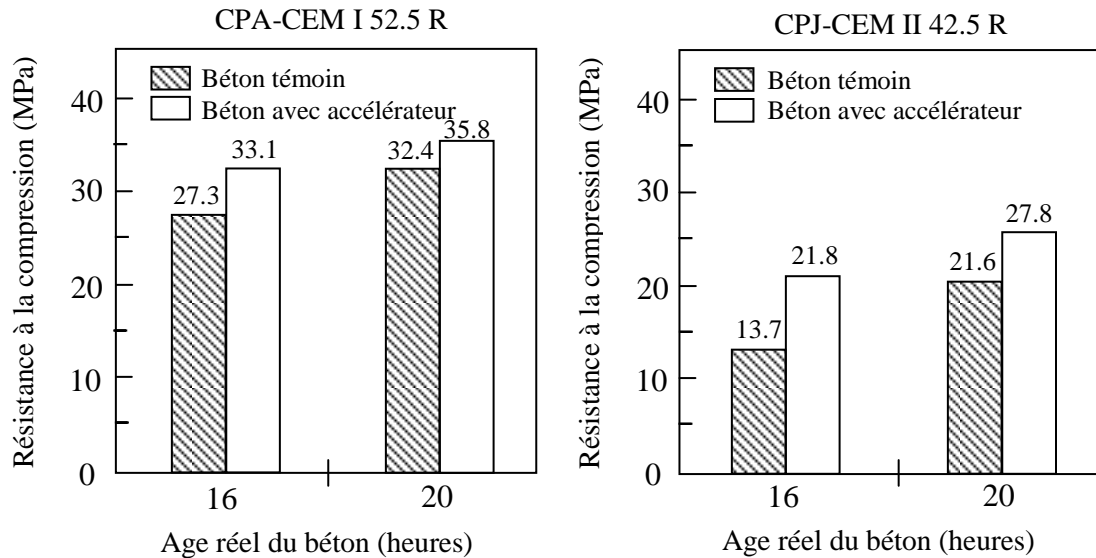
### ***1.2.1. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement***

Ces adjuvants sont des produits chimiques qui modifient la solubilité des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps en fonction de l'adjuvant utilisé.

#### ***1.2.1.1. Accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement***

Ce sont des adjuvants qui permettent au béton de passer plus rapidement de l'état frais à l'état durci. On distingue deux types d'accélérateurs ; les accélérateurs de prise qui ont pour fonction principale la diminution du temps du début et du temps de fin de prise, et les accélérateur de durcissement qui ont pour fonction principale l'accélération du développement des résistances initiales des bétons, des mortiers ou des coulis. Bien souvent ces deux fonctions sont liées où l'une peut être considérée comme l'effet secondaire de l'autre. Les accélérateurs se présentent sous forme de liquides ou de poudres solubles qui doivent être

préalablement bien diluées dans de l'eau de gâchage. On les utilise à des dosages variant de 1 à 3% du poids de ciment pour les accélérateurs de prise, et à des dosages variant de 0.2 à 3% du poids de ciment pour les accélérateurs de durcissement. La figure 1-1 illustre l'influence du type de ciment sur l'efficacité d'un accélérateur de prise normalisé où son effet diminue avec le CEM I 52.5 R contrairement avec le CEM II 42.5 R [3].



**Figure 1-1 :** Résistance à la compression, à 16 et à 20 heures, de bétons avec et sans accélérateur [3]

### 1.2.1.2. Retardateurs de prise

Le raffermissement et le durcissement prématurés peuvent créer des difficultés de déchargement, de mise en place et de consolidation du béton frais. L'usage d'un adjuvant retardateur de prise dans de tels cas est indispensable, particulièrement dans le béton prêt à l'emploi et lorsqu'on prévoit de le transporter sur une longue distance par temps chaud. Les retardateurs de prise permettent au béton de garder une consistance plastique durant une période plus longue sans que l'accroissement des résistances soit affecté d'une façon significative. Dans d'autres cas, les retardateurs de prises peuvent être utiles dans le cas de joints indésirables entre les coulées, en assurant que le béton de la coulée précédente demeure assez longtemps plastique pour que la coulée suivante s'y joigne bien. En outre, ils peuvent contribuer à réduire les températures maximales dans le béton de masse en répartissant le dégagement de la chaleur d'hydratation sur une période plus longue. Les retardateurs de prise

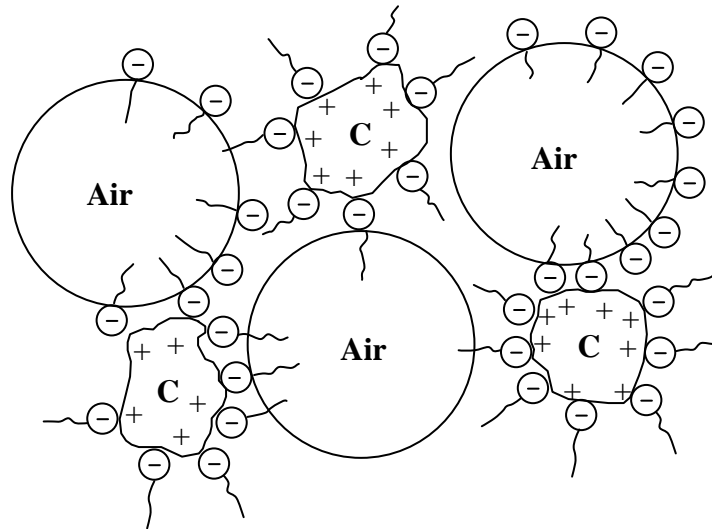


s'utilisent, de préférence sous forme liquide, à des dosages variant entre 0.2 à 1% du poids de ciment et ils doivent être bien répartis dans la masse du béton tout en prenant des précautions afin d'éviter des surdosages locaux.

### 1.2.2. Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton

#### 1.2.2.1. Entraîneurs d'air

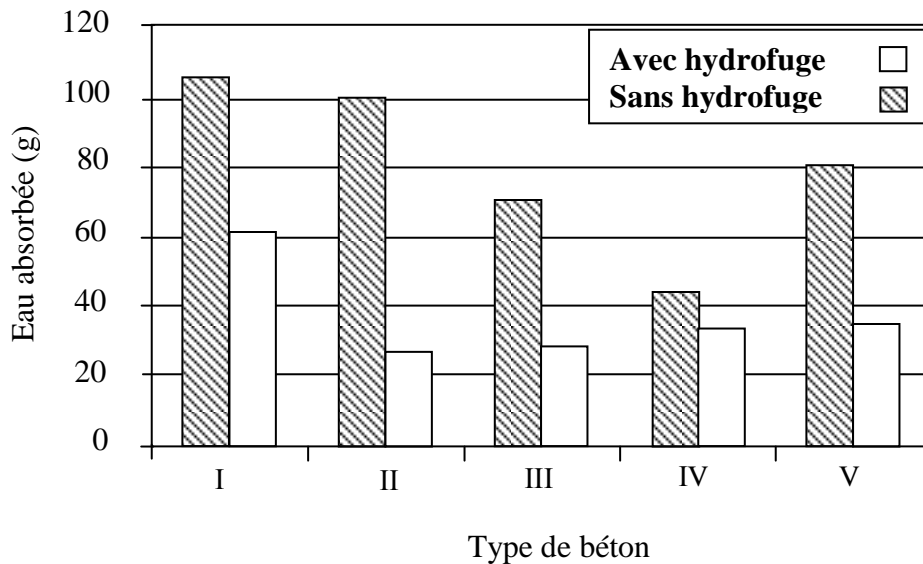
Les structures en béton soumises à des variations climatiques sévères ou situées dans des régions à hivers rigoureux subiront des dégradations importantes causées par les cycles gel-dégel. En effet, l'eau présente dans les capillaires du béton, crée au cours du cycle gel-dégel des contraintes élevées qui finissent par faire éclater ou écailler le béton. Pour pallier ces inconvénients outre la mise en oeuvre d'un béton à E/C aussi faible que possible et à grande compacité, on utilise des entraîneurs d'air. Les entraîneurs d'air sont des adjuvants qui permettent la formation dans le béton de petites bulles d'air qui modifient le comportement du béton à l'état frais comme à l'état durci (figure 1-2). Ces bulles d'air uniformément réparties assurent la cohésion du béton frais et augmentent sa résistance au gel. Ainsi l'eau excédentaire peut s'échapper facilement dans ces vides et les désordres dans le béton seront évités. Ces adjuvants s'ajoutent à l'eau de gâchage à des doses variant entre 0.01 et 0.1 % du poids de ciment.



**Figure 1-2:** Mécanismes d'action des agents entraîneurs d'air [4].

### 1.2.2.2. Hydrofuges de masse

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils s'ajoutent à l'eau de gâchage à des doses variant entre 0.5 et 5% du poids du ciment. Leur action est très variable suivant leurs compositions, leurs dosages et les types de bétons auxquels ils sont incorporés. Les temps de prise peuvent être augmentés. L'efficacité dépend de la nature du ciment, cependant il convient de se rappeler qu'ils ne peuvent pas rendre étanche un mauvais béton, mal composé et présentant des vides importants ou des hétérogénéités. La figure 1-3 présente l'absorption de l'eau par différents mortiers contenant un agent hydrofuge où on observe une réduction de l'absorption de l'eau par les mortiers adjuvantés.



**Figure 1-3 :** Taux d'absorption en eau pour des mortiers contenant un hydrofuge de masse [5]

### 1.2.3. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, des mortiers et des coulis à l'état frais avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte en modifiant la viscosité. La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés.

#### 1.2.3.1. Plastifiants réducteurs d'eau

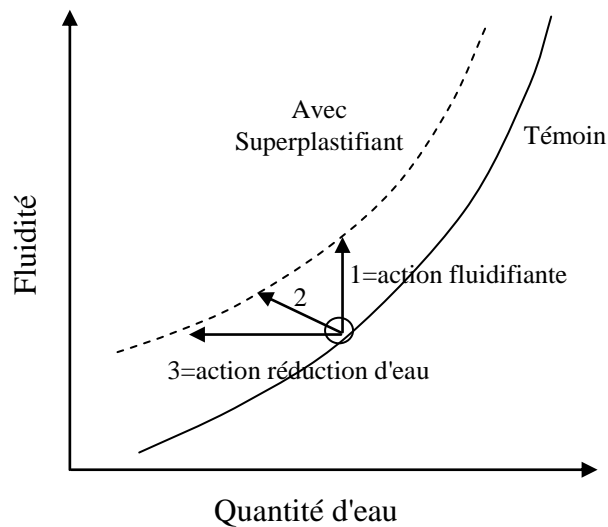
Un plastifiant est un adjuvant qui introduit dans un béton, un mortier ou un coulis a pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange et d'améliorer la consistance du béton tout en diminuant la quantité d'eau. Ce sont essentiellement des lignosulfonates et éventuellement certains gluconates qui sont destinés à réduire de façon considérable la teneur en eau du béton pour une ouvrabilité identique à celle d'un béton non adjuvanté. La combinaison entre la diminution de la teneur en eau et l'amélioration de l'ouvrabilité leur a donné l'appellation de "*réducteurs d'eau-plastifiants*". Ils sont efficaces lorsque, à maniabilité égale, la diminution d'eau par rapport au béton témoin non adjuvanté est d'au moins 6.5% et elle peut atteindre environ 8% avec certains ciments. Les réducteurs d'eau les plus performants (*hauts réducteurs d'eau*) plafonnent aux environs de 12%. Ces valeurs sont difficiles à dépasser du fait que, contenu de l'effet retardateur de ces adjuvants, on est limité dans toutes augmentations de dosage. Le développement de l'industrie de la chimie a permis de fabriquer des réducteurs d'eau, plastifiants, à base de polyacrylique et de naphthalène sulfonate et qui permettent une réduction d'eau qui peut atteindre 30%.

#### 1.2.3.2. Superplastifiants

Lorsqu'on veut obtenir certaines caractéristiques mécaniques, il doit être exclu pour permettre la pompabilité du béton, des solutions telles que le surdosage en eau ou, plus encore, l'addition d'eau dans le malaxeur à béton. Il existe des produits dispersant type polymère extrêmement actifs qui sont les superplastifiants. Ces adjuvants sont à base de résine de synthèse d'où on distingue des superplastifiants à base de formaldéhyde et mélamine sulfonate, des superplastifiants à base de formaldéhyde et naphthalène sulfonate et des superplastifiants à base de polycarboxylate ; ces derniers permettent une réduction d'eau qui peut atteindre 40%.

Ces adjuvants ont une action plus importante sur les bétons que celle des réducteurs d'eau plastifiants, en permettant, à teneur en eau égale, d'augmenter considérablement l'ouvrabilité du béton. On ne pourrait pas obtenir les mêmes effets avec des réducteurs d'eau plastifiants, même en augmentant considérablement les doses, en raison des effets secondaires qui sont le retard excessif de la prise et l'excès d'air.

Les superplastifiants, mélangés à l'eau de gâchage du béton ne présentent aucune différence avec les réducteurs d'eau-plastifiants, ajoutés directement à la fin du malaxage du béton. Leur effet bien que plus notable, n'est guère plus différent de celui obtenu avec des réducteurs d'eau-plastifiants. Par contre, l'action fluidifiante se produit de façon incontestable lorsque les superplastifiants sont introduits à un certain temps après la confection du béton. L'utilisation de superplastifiant dont l'action est schématisée sur la figure 1-4 [6] permet de privilégier soit l'action "réduction d'eau" utile dans le cas de béton pour la préfabrication soit l'effet "fluidification" qui permet de répondre aux besoins des utilisateurs de béton prêt à l'emploi.



**Figure 1-4:** Action d'utilisations des superplastifiants [6]

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse seulement aux adjuvants modifiant la rhéologie des bétons puisque cette catégorie d'adjuvants a servi de base aux présents travaux de recherche. Pour mieux comprendre les interactions ciment-superplastifiant, on a étudié

l'influence de la présence d'un dispersant polymérique utilisé comme superplastifiant dans le béton en fonction de son dosage et le rapport E/C.

### 1.3. Différentes classes de superplastifiant

Les superplastifiants sont des polymères de synthèse fabriqués spécialement pour l'industrie du béton. Les superplastifiants sont généralement classés en quatre groupes : les polycondensats de formaldéhyde et de mélamine sulfonée (PMS) (figure 1-5), les polycondensats de formaldéhyde et de naphthalène sulfoné (PNS) (figure 1-6), les lignosulfonates modifiés (MLS) (figure 1-7) et les autres incluant les esters d'acides sulfoniques, les polyacrylates et les polycarboxylates (PC) (figure 1-8).

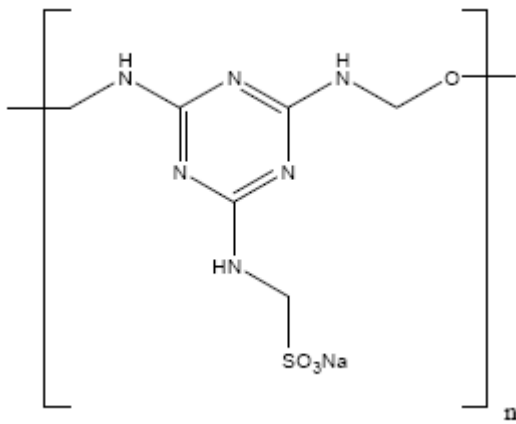


Figure 1-5: PMS

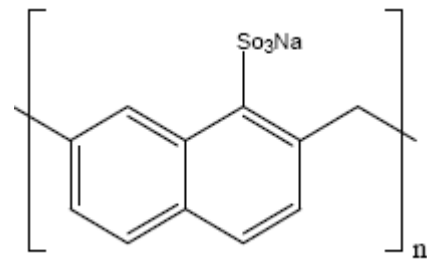


Figure 1-6: PNS

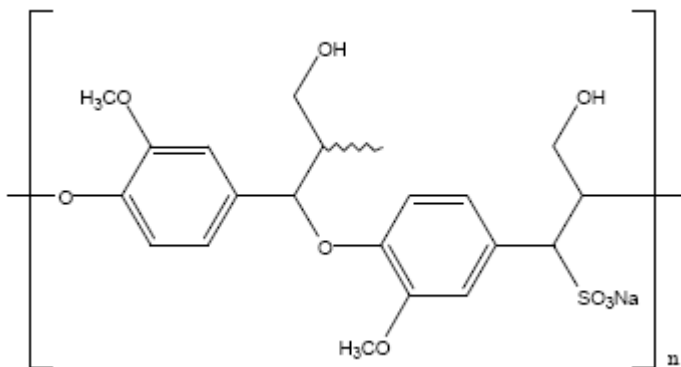
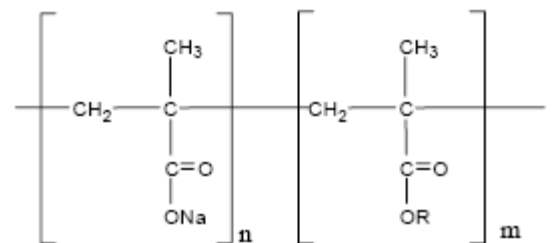


Figure 1-7: Lignosulfonate modifié



R=oxyde d'éthylène par exemple

Figure 1-8: Polycarboxylate

## 1.4. Caractéristique d'adsorption des adjuvants

L'adsorption d'un superplastifiant durant la première phase d'hydratation a été considérée comme un phénomène capital. Ce phénomène a été étudié par plusieurs chercheurs [7, 8, 9] parce qu'il projette la lumière sur le mécanisme de dispersion du superplastifiant.

### 1.4.1. Effet du type de ciment

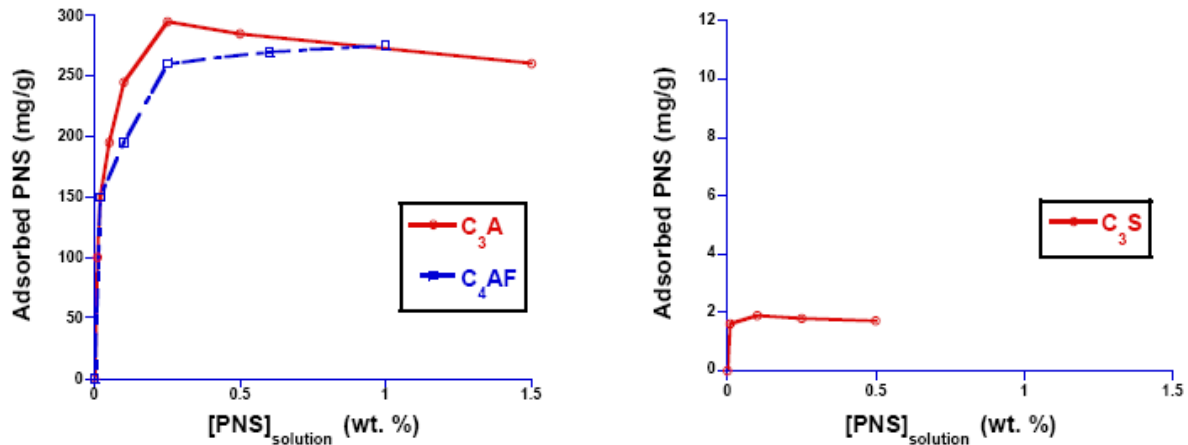
Burk et *al.* [10] ont prouvé qu'un dosage plus élevé de superplastifiant de PNS est nécessaire pour les ciments de type I et de type III que pour les ciments de type II, parce que la quantité d'adsorption est directement liée au type de ciment selon l'ordre suivant : type III > Type I > Type II. Ils ont noté que le rapport  $C_3A/SO_3$  dans les ciments suit également la même tendance. L'adsorption de superplastifiant qui est principalement à la charge de la quantité de  $C_3A$  contenu dans le ciment, devient de plus en plus évidente parce que, dans le but d'obtenir la même ouvrabilité, une plus grande dose de superplastifiant est nécessaire pour un ciment de type I que pour un ciment de type III. D'autre part, Uchikawa et *al* [9] ont étudié les propriétés des pâtes de ciment de huit types de ciment et un superplastifiant de PNS. Leurs résultats montrent que le ciments au laitier, le ciment aux cendres volantes, le ciment à faible chaleur d'hydratation et le ciment Portland ayant une teneur en belite élevée ont une plus grande fluidité. En outre, la fluidité des ciments portland ordinaire ayant une teneur plus faible de chaux libre (0,3%) est légèrement meilleure que celle d'un ciment contenant plus de chaux (1,3%).

#### 1.4.1.1. Composition chimique du Ciment

La composition chimique du ciment influe considérablement sur les propriétés rhéologiques de la pâte. Asakura et *al.* [11] ont étudié l'influence de la composition de la phase des clinkers de ciment Portland sur l'adsorption d'un superplastifiant de PNS. Ils ont élaboré six ciments ayant différents rapports de  $C_3S/C_2S$  et de  $C_3A/C_4AF$  et ont trouvé une forte dépendance du rapport de phases de silicates  $C_3S/C_2S$  et du rapport d'aluminates  $C_3A/C_4AF$  sur le taux et la quantité d'adsorption. Ils ont également indiqué que la quantité apparente d'adsorption du PNS saturé augmente lorsque les rapports de  $C_3S/C_2S$  ou de  $C_3A/C_4AF$  augmentent. D'autre part, leurs résultats d'étude de l'isotherme d'adsorption du PNS sur le  $C_3A$ ,  $C_4AF$  et  $C_2S$  synthétisés ont montré que les quantités saturées d'adsorption sur le  $C_3A$  et

le  $C_4AF$  étaient très élevées, environ 300 mg/g, tandis que celle sur le  $C_3S$  n'était que de 2 mg/g [12]. De plus, des résultats similaires ont montré que la quantité de superplastifiant adsorbés sur le  $C_3A$  et  $C_4AF$  en l'absence de gypse est environ dix fois plus grande qu'en présence du gypse [13]. Blank et al. [14] ont étudié l'adsorption avec de l'acide salicylique et leurs résultats ont confirmé que la quantité d'adsorption sur les différents minéraux de ciment étaient dans l'ordre de  $C_3A > C_4AF > C_3S$ .

La figure 1-9 présente les résultats [1] d'adsorption d'un superplastifiant de type PNS sur les phases pures de ciment ( $C_3A$ ,  $C_4AF$  et  $C_3S$ ) pour des rapports eau/solide de 0,5. Ces résultats montrent que le polymère s'adsorbe préférentiellement sur les phases aluminates et peu sur les phases silicates.



**Figure 1-9:** Isothermes d'adsorption d'un superplastifiant de type PNS sur les phases pures de ciment, eau/solide = 0,5 [1]

Yoshioka et al [15] ont également étudié l'adsorption de quatre types de superplastifiants commerciaux sur les différentes phases pures. Ils ont montré qu'une plus grande quantité de polymère s'adsorbait sur les phases aluminates ( $C_3A$  et  $C_4AF$ ) que sur les phases silicates ( $C_3S$  et  $C_2S$ ).

L'influence de la composition de phase des clinkers de ciment Portland sur la fluidité de la pâte fraîche de ciment a été largement étudiée. Sur six ciments ayant différents rapports de  $C_3S/C_2S$  ou de  $C_3A/C_4AF$ , Asakusa et al. [11] ont constaté que la viscosité des pâtes de ciment augmente sensiblement dans le ciment ayant un faible rapport de  $C_3S/C_2S$  ou de

$C_3A/C_4AF$  lorsqu'un superplastifiant de PNS est employé. Il a été constaté que la teneur en  $C_3A$  et la finesse de ciment sont les facteurs les plus importants. Plus le contenu de  $C_3A$  et la finesse de ciment sont élevés, plus l'effet de fluidification du superplastifiant diminue [9]. Ces résultats ont été confirmés par Boragafio et al [16] en comparant les propriétés rhéologiques de trois types de ciment où l'effet de fluidification diminue lorsque le rapport du  $C_3A/C_4AF$  augmente.

Aitcin [17] a présenté le temps d'écoulement de deux ciments différents produits par la même usine, (type I et type II). Il a été constaté que le ciment type II, riche en  $C_3S$  et faible en  $C_3A$ , à un point de saturation correspondant à une dose beaucoup plus faible de superplastifiant et un temps d'écoulement plus faible. De même, les temps d'écoulement à 60 minutes et à 5 minutes sont très proches ce qui indique une très faible réactivité initiale. En outre, il a été signalé [18] que l'utilisation d'un ciment Portland Spécial contenant plus au moins de 11% de phase interstitielle (3.6% de  $C_3A$  et 6.9 %  $C_4AF$ ) était très économique en termes de dosage de superplastifiant pour préparer la fluidité d'un béton à haute performance à un très faible rapport eau / liant.

#### 1.4.1.2. Finesse du Ciment

L'action des superplastifiants devient plus importante lorsque la taille des particules de ciment est plus petite que  $10 \mu m$  [19]. Cet effet sur les particules fines a également été étudié par Nawa et al [12] où la viscosité des pâtes de ciment accrue avec la fraction fine ( $\leq 10 \mu m$ ) de ciment. Cela est dû à l'augmentation du montant de superplastifiant adsorbé lorsque la finesse du ciment augmente. Cependant, une corrélation claire ne peut être détectée lorsque la variation de finesse est trop petite.

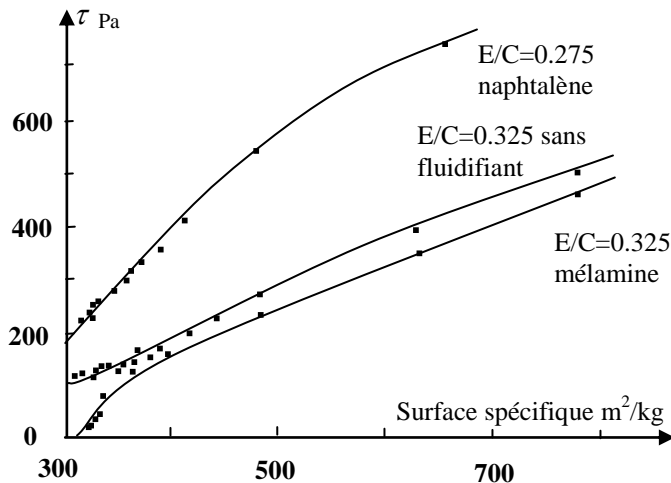
D'après une étude de l'effet de six ciments portland turques sur l'interaction ciment-superplastifiant, Serdar et al [20] ont constaté que l'effet de la finesse du ciment dépend en grande partie de la composition chimique du ciment, c'est-à-dire, l'effet de la finesse du ciment est plus prononcé quand le ciment est incompatible avec le superplastifiant. De même, il a été démontré [21] que les particules de ciment s'hydratent à des vitesses différentes selon



leurs finesses. En conséquence, le dosage de superplastifiant devra être augmenté avec des ciments de finesse accrue pour compenser l'hydratation rapide des grains fins de ciment [14].

Les superplastifiants sont les plus efficaces en retardant l'hydratation de la fraction de taille moyenne du ciment (4-30 $\mu\text{m}$ ). Le superplastifiant est incapable d'affecter l'hydratation de la fraction la plus fine (>4 $\mu\text{m}$ ) due à leur réactivité élevée et au fait que les  $\text{SO}_3$  et les alcalis tendent à se concentrer dans la fraction fine du ciment.

Une étude expérimentale fut réalisée par Saada et *al* [22] où des ciments de finesse variable ont été recomposés en mélangeant en proportions variables un ciment portland à des fillers calcaires ou siliceux. Ces résultats montrent que le seuil de cisaillement, mesuré pour plusieurs surfaces spécifiques et différents superplastifiants, augmente avec la finesse et que l'efficacité de l'adjuvant dépend de la nature du filler (figure 1-10).



**Figure 1-10:** Influence de la surface spécifique du ciment sur le seuil de Cisaillement [22]

#### 1.4.1.3. Contenu de sulfates de calcium

La fluidité des pâtes de ciment contenant du superplastifiant et du sulfate de calcium dihydraté (gypse) est beaucoup plus élevée que ceux qui contiennent le hémihydrate, bien que la valeur de potentiel zêta et la quantité de superplastifiant adsorbé ne soient pas sensiblement modifiées avec ces deux formes différentes de sulfate de calcium [23].

Ces résultats concordent avec ceux d'autres chercheurs [24,25] qui confirment que la pâte contenant de forts alcalis est beaucoup plus fluide lorsque le dihydrate est utilisé à la place de hémihydrate. Dans le cas des pâtes de ciment contenant de l'anhydrite, la fluidité est obtenue entre les valeurs observées avec dihydrate et l'hémihydrate mais dans un ciment avec une très faible teneur en substances alcalines la fluidité de la pâte de ciment est beaucoup plus faible.

Ranc [26] a réalisé une étude des propriétés rhéologiques de trois ciments préparés à partir du même clinker. Chaque ciment a la même finesse et contient la même quantité totale de sulfate de calcium ajouté, sous différentes formes. Les résultats montrent que les pâtes de ciment contenant un mélange de quelques hémihydrate et de l'excès de plâtre ont une meilleure fluidité en présence d'un superplastifiant que celles qui contiennent un mélange de gypse et l'anhydrite ou gypse et un montant élevé de hémihydrate.

Jolicoeur et al [27] ont étudié les propriétés rhéologiques de 18 pâtes de ciment ayant des compositions différentes en utilisant le cône de Marsh. Ils ont constaté que les ciments ayant respectivement un contenu relatif de gypse/hémihydrate / anhydrite de 60/20/20 et 70/30/0 présentent une fluidité initiale élevée et une petite perte de fluidité au cours d'une période allant de 1 à 2 heures. Rollet et al [28] ont montré que l'incompatibilité, qui signifie une perte significative d'affaissement en présence d'un superplastifiant, se produit pour un ciment ayant le contenu élevé d'anhydrite. Ce problème a été résolu par le remplacement du ciment avec un nouveau ciment ayant un contenu normal de gypse ou un superplastifiant de PMS.

Vernet et al [29] ont indiqué que la prise rapide est liée à la formation du composé de  $C_3A$ -PNS pendant l'hydratation. Cette formation est réduite quand la diffusion du sulfate dans le  $C_3A$  augmente. Afin d'obtenir ces résultats, il n'est pas nécessaire d'augmenter la solubilité du sulfate de calcium, mais plutôt sa vitesse de dissolution. Par conséquent, l'addition du hémihydrate est plus appropriée que celle de l'anhydrite. Ils ont également proposé un mécanisme de concurrence entre les ions de sulfate et les sites sulfonate de PNS pour expliquer la perte de fluidité.

Le taux de dissolution de sulfate de calcium, comme sa forme, devrait être considéré lorsque les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment sont étudiées. Il a été également

constaté [30,31] qu'il existait une relation inverse entre le degré de désulfuration du clinker et le temps d'écoulement mesuré avec un cône de Marsh. Lorsque le contenu de hemihydrate dans le ciment augmente jusqu'à 1 %, la fluidité de la suspension s'améliore dans les pâtes de ciment contenant 1% de superplastifiant et un rapport E/C = 0,40.

#### 1.4.1.4. Alcalis

Les alcalis jouent un rôle important dans l'adsorption des superplastifiants par les constituants du ciment. Il a été montré que l'adsorption des quantités de superplastifiant de PNS dans le système de C<sub>3</sub>A-Gypse est considérablement réduite dans une solution alcaline (KOH de 0.25 M, NaOH de 0.025 M) [32]. À 5 minutes, la quantité d'adsorption de superplastifiant de PNS est réduite jusqu'à 50 % par rapport au système d'eau pure. L'augmentation de la concentration d'alcalis modifie le pH d'un béton et contribue à un changement des forces ioniques de la solution des pores, et donc influence la rhéologie de la pâte de ciment. La présence des alcalis dans des clinkers de ciment Portland favorise la dissolution de C<sub>3</sub>A et augmente de ce fait son taux de réaction ce qui accélère l'hydratation tôt. Les solutions riches d'alcali, à condition que le contenu de gypse soit bas, encouragent la formation d'hydrate d'aluminate [24]. Lorsque les alcalis sont présents dans les formes de sulfate (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), l'adsorption de superplastifiant sur C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF est inhibée, ce qui permet d'augmenter l'adsorption sur le C<sub>3</sub>S et C<sub>2</sub>S, et réduire par conséquent la viscosité de la pâte [24].

Jiang et al [33] estiment que la quantité de produits alcalins solubles qui entrent dans la solution pendant les premières minutes après le mélange est essentielle pour assurer la compatibilité entre le ciment et les superplastifiants. De même, l'addition de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diminue significativement la viscosité des pâtes de ciment à faible teneur en alcalis solubles (0,22% soluble de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et anhydrite [24,25], alors qu'une addition au-delà de 1 % augmente la viscosité. Ils ont conclu qu'il existe un niveau optimal de sulfate alcalin en ce qui concerne la fluidité de la pâte de ciment contenant un superplastifiant.

Matsukawa [34] a également constaté qu'un superplastifiant de PNS ayant un contenu élevé résiduel de sulfate d'alcali est plus efficace en fluidisant une pâte de ciment blanc qu'un superplastifiant qui a un faible contenu résiduel de sulfate d'alcali. Un résultat similaire a été

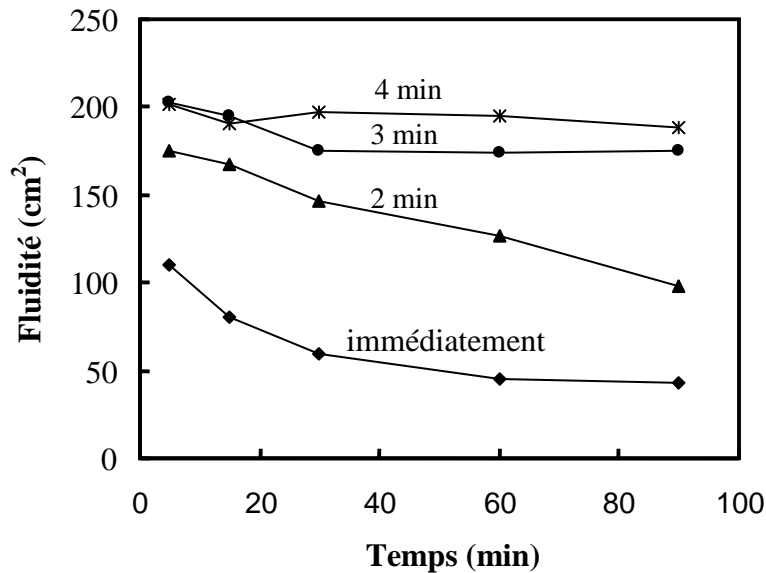
trouvé par Kurdowski et *al* [35] où la viscosité plastique d'un coulis à base de PNS a été réduite avec l'addition de 0,5% de  $K_2SO_4$  par rapport au coulis de référence. Au contraire, en présence d'un superplastifiant de PMS, la viscosité plastique de la pâte de ciment a été augmentée quand l'addition de  $K_2SO_4$  augmente de 0.5 % à 2 %. Ce comportement a été jugé indépendant du dosage du superplastifiant. Avec un dosage de 3 % de superplastifiant de PMS et de PNS, l'addition de  $K_2SO_4$  a moins d'influence sur la viscosité plastique.

## 1.4.2. Superplastifiant

### 1.4.2.1. Effet du mode d'introduction

Le moment d'introduction d'un superplastifiant a occupé l'esprit de plusieurs chercheurs afin d'optimiser l'effet de dispersion. Chiochio et *al.* [36] ont montré que le meilleur moment pour ajouter un superplastifiant est au début de la période d'induction où toute introduction avant la première période d'hydratation de  $C_3A$ , entraîne sa large adsorption par les premiers hydrates de la phase d'aluminate. L'effet d'addition retardée suppose que le mélange est adsorbé à un moindre degré quand on l'ajoute quelques minutes après le malaxage, de sorte qu'il y ait assez de mélange laissé dans la solution pour favoriser la dispersion des phases de silicate et pour abaisser la viscosité des pâtes de ciment [37].

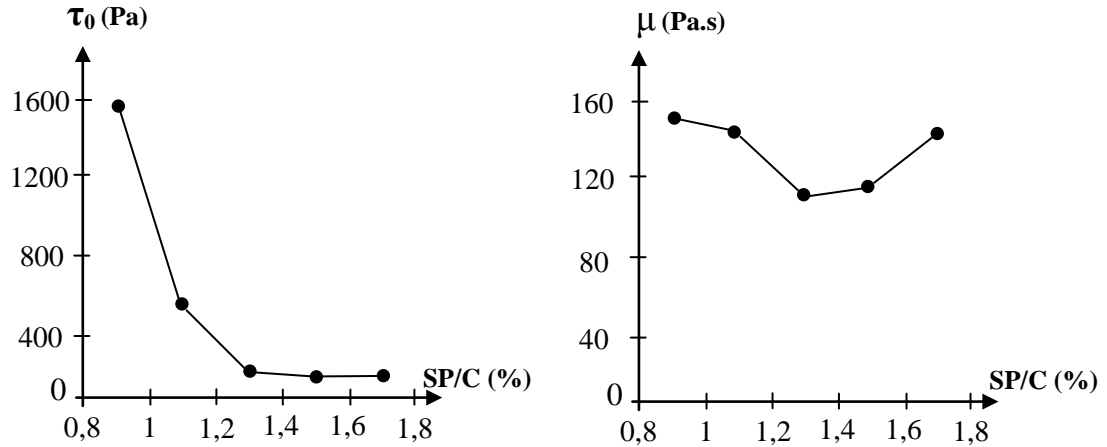
La figure 1-11 montre les résultats d'essai au Mini-Slump où l'introduction du superplastifiant a été divisée en deux parties; une moitié lors du contact avec de l'eau de gâchage et l'autre moitié quelques minutes après le malaxage. Les valeurs de mini-slump du coulis obtenu montre que la fluidité initiale a été considérablement augmentée, et que notamment, la perte de fluidité a été beaucoup réduite lorsque la moitié du superplastifiant a été ajoutée 3 minutes après le début du malaxage.



**Figure 1-11:** Variation de la fluidité d'un coulis pour plusieurs modes d'introduction [36]

#### 1.4.2.2. Effet du dosage de superplastifiant

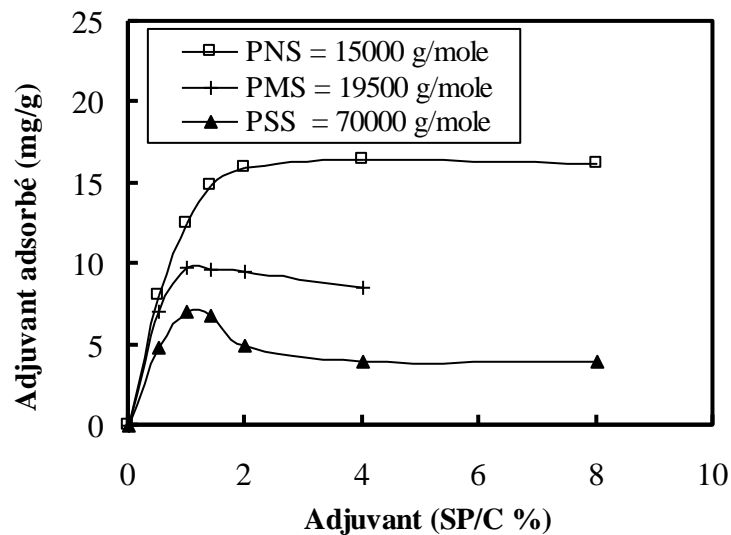
Plusieurs chercheurs [38, 39] envisagent que plus le dosage en superplastifiant et le rapport E/C sont élevés, plus le comportement rhéologique se maintient dans le temps. De même, Aïtcin [40] a montré que lorsqu'on utilise un superplastifiants à très forts dosages, cet effet enveloppant peut retarder l'hydratation des grains de ciment, quelle que soit la nature du superplastifiant, du type de ciment ou la dimension moyenne de ses grains. En revanche, la présence de superplastifiant en excès permet en effet de compenser la consommation du polymère par les grains de ciment et ses hydrates [41]. Hu [42] a étudié l'effet du dosage en superplastifiant sur les paramètres rhéologiques d'un béton à dosage en eau constant. Ses résultats représentés sur la figure 1-12, montrent que le superplastifiant diminue le seuil de cisaillement et la viscosité plastique, mais que l'effet sur la viscosité reste modeste. Après un certain dosage, Sugamata et al. [43] ont étudié l'influence de différents superplastifiants et de leurs dosages sur le maintien rhéologique dans le temps d'un mortier. Leurs résultats montrent que l'augmentation du dosage d'un des superplastifiants n'a plus d'influence sur la fluidité du mortier à partir d'une certaine valeur. Cette caractéristique est maintenant bien connue, il s'agit du dosage de saturation, c'est-à-dire le dosage au-dessus duquel l'adjuvant ne permet plus de modifier de façon significative la rhéologie du mélange. Actuellement, les superplastifiants sont utilisés à un dosage proche du dosage à saturation afin de limiter le phénomène de perte de rhéologie dans le temps.



**Figure 1-12:** Effet du dosage du superplastifiant sur le seuil de cisaillement ( $\tau_0$ ) et la viscosité ( $\mu$ ) [42]

#### 1.4.2.3. Nature chimique (structure moléculaire)

La nature chimique du superplastifiant joue un rôle capital dans son adsorption sur les grains de ciment. Andersen et al [7] ont constaté que l'absorption de PNS est plus élevée que celle de PMS et de PSS (polystyrène). Avec leurs trois poids moléculaires respectivement de 15000, 19500 et 70 000 g/mole, l'adsorption mesurée en fonction du dosage (figure 1-13) montre une nette dépendance avec le poids moléculaire. Malgré que le potentiel Zéta du PSS est plus négatif que celui des deux autres superplastifiants, son adsorption est la plus faible dû à son important poids moléculaire. D'autres part, l'adsorption ne peut pas être attribuée directement au poids moléculaire des superplastifiants mais plus à leurs natures chimiques différentes.

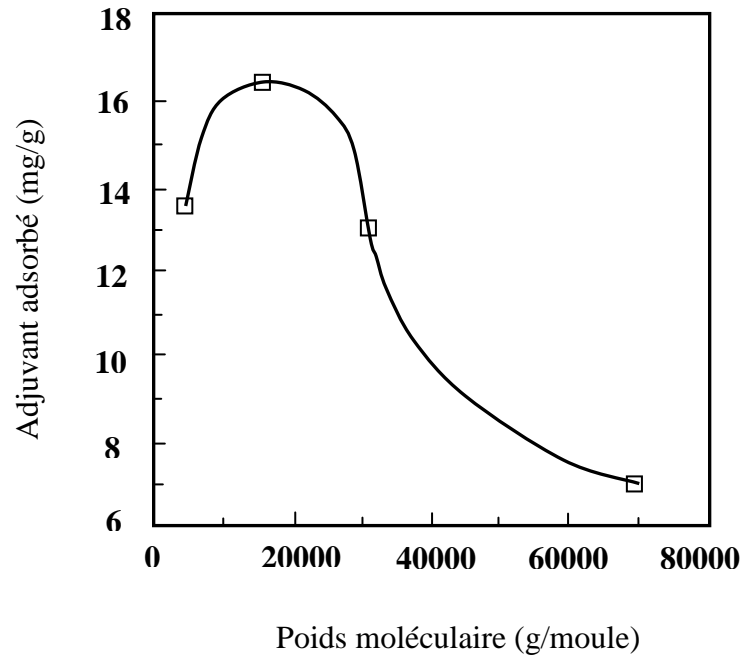


**Figure 1-13:** Variation de l'adsorption du superplastifiant en fonction dosage SP/L.  $w/c=2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , temps = 15 minutes [7]

Malhotra et *al* [44] ont constaté que dans le but d'obtenir un affaissement d'environ 260 mm sous forme d'une première valeur de 50 mm, il est nécessaire d'ajouter 0,6% de PMS ou d'un superplastifiant de MLS, alors que ceci pourrait être accompli avec 0.4% d'un superplastifiant de PNS. Ces résultats indiquent que le superplastifiant de PNS est plus performant que le PMS. Des conclusions similaires ont été tirées par Lessard [45]. Uchikawa et *al* [9] ont comparé l'effet de PNS et lignosulfonate (LS) sur les propriétés des pâtes confectionnées avec huit différents ciments. Ils ont constaté que les pâtes de ciment contenant du PNS sont plus fluides que celles contenant du LS en raison de la forte affinité du PNS au ciment sur l'adsorption des particules. Dans une autre étude[46], il a été montré, après avoir malaxer avec l'eau de gâchage, que le seuil de cisaillement de la pâte de ciment contenant du AS (aminosulfonic ) est le plus faible et augmente dans l'ordre avec l'utilisation du PNS, PC, et de LS. Sa valeur augmente avec le temps dans l'ordre de AS, PC, PNS et LS, cependant, la viscosité plastique des pâtes de ciment avec le PNS et le LS est plus élevée que celle du PC et du AS.

#### 1.4.2.4. Effet du poids moléculaire du superplastifiant

L'effet retardateur des superplastifiants a été bien documenté et a été attribué à la capacité du superplastifiant adsorbé sur la surface des particules de ciment et de leurs hydrates. Cependant, l'efficacité, ou la sévérité, avec laquelle un superplastifiant peut retarder le taux d'hydratation varie avec la nature du superplastifiant. L'influence de la masse moléculaire de superplastifiant sur les propriétés des pâtes de ciment est un principal paramètre physico-chimique lors de l'étude de l'interaction ciment – superplastifiant. Andersen et *al* [7] ont prouvé que des superplastifiants constitués de polymère avec des chaînes plus longues ont des possibilités de dispersion plus élevées, alors que les polymères à chaînes plus courtes ont une influence plus prononcée sur le retardement. Andersen et *al* [47] ont étudié l'adsorption du superplastifiant de PSS (Poly styrène sulfonate de sodium) en fonction du poids moléculaire (PM) dans la gamme de 4 000 - 70 000 g /mol (figure 1-14). D'après leurs résultats, il est évident que le montant maximal de PSS adsorbé se produit à un poids moléculaire de 16 000 g/mol. Ils ont conclu que le polymère, malgré qu'il ne soit pas bien fortement adsorbé, peut produire une charge plus négative.



**Figure 1-14:** Quantité maximale du polystyrène adsorbé en fonction de son poids moléculaire[7]

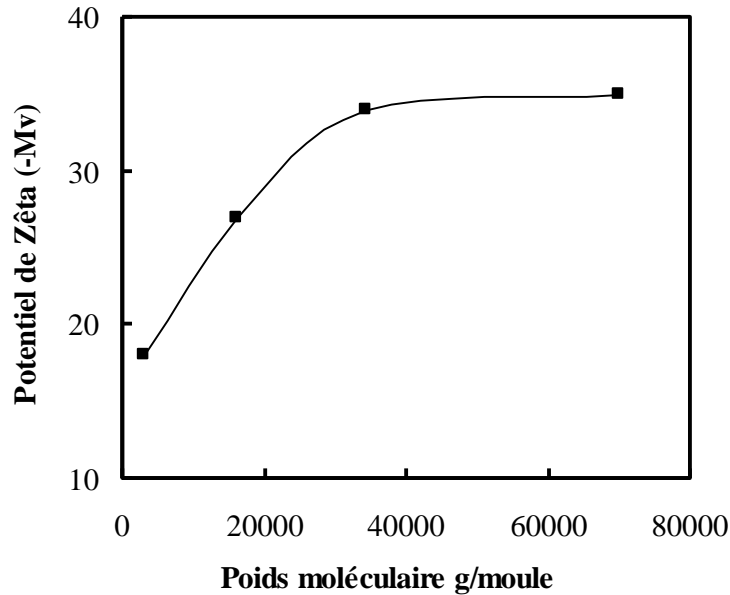
L'effet du poids moléculaire PM de superplastifiant à base de PMS sur l'adsorption des particules de ciment a été étudié. Cunnigham et *al* [48] ont constaté que les PMS de plus hautes fractions de poids moléculaire adsorbent mieux sur les particules de ciment. Cependant, ces résultats ne sont pas confirmés par Sebok [49] qui a conclu que le polymère à base de PMS est adsorbé quelque soit son poids moléculaire.

D'autres part, les résultats [23] d'adsorption du polymère à base de PNS montrent qu'en augmentant le (PM) l'adsorption augmente jusqu'à 70 %. Au-delà d'une certaine valeur, il semble qu'il n'y a aucune croissance significative d'adsorption de ce polymère. Ferrari et *al* [50] ont utilisé la technique de GPC (*Chromatographie sur Gel Perméable*) pour mesurer la quantité de PNS adsorbée et pour estimer l'adsorption sélective des différents composants de ces polymères (*fractions de polymère, disulfonate de naphthalène, et B-sulfonate de naphthalène*). Les résultats ont montré que le naphthalène disulfonate et le B-sulfonate de naphthalène ne sont pas substantiellement adsorbés sur des particules de ciment. Les fractions des polymères sont adsorbées à des degrés divers en fonction de la dose de superplastifiant et



le ciment utilisé. On a déterminé qu'un superplastifiant commercial de PNS de masses moléculaires comprises entre 6000 et 8000 exerce un meilleur effet fluidifiant sur les ciments utilisés. D'autre part, les PNS de plus grande masse molaire étaient fortement adsorbés sur les ciments tandis que les polymères de plus petite masse molaire restent en solution [51], Ces résultats ont été confirmés par plusieurs autres chercheurs [23, 53, 54, 55].

La figure 1-15 présente les résultats d'essais [47] du potentiel zêta en fonction du poids moléculaire d'où on constate que plus le poids moléculaire est élevé, plus la valeur du potentiel de zêta est élevée. Cependant, la mesure rhéologique n'avait pas été effectuée afin de confirmer l'hypothèse qui relie entre les grandes valeurs négatives du potentiel zêta et la fluidité élevée.



**Figure 1-15:** Augmentation du Potentiel de zêta en fonction du poids moléculaire ( $pH= 11.5$ ,  $T = 25^{\circ}C$ , temps d'hydratation = 15 mn) [47]

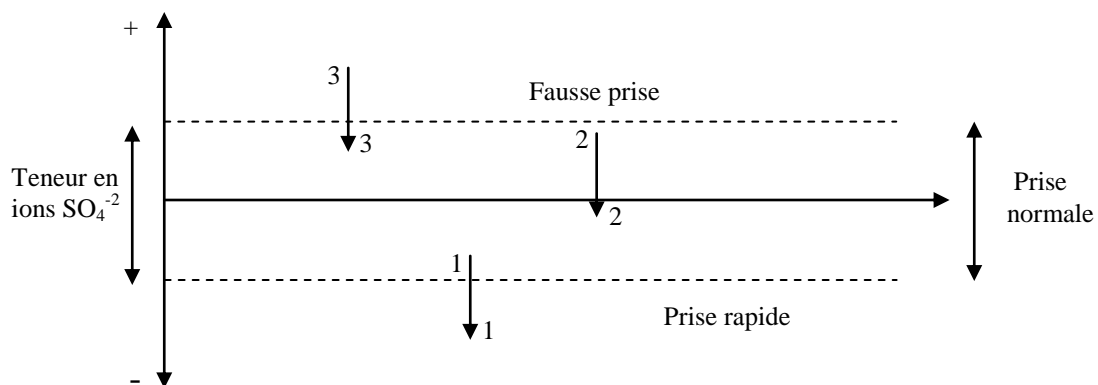
Uchikawa et al [9] ont étudié l'effet du poids moléculaire des superplastifiants de type PC (polycarboxylate) sur la fluidité des pâtes de ciment. Ils ont conclu que les superplastifiants de type PC ont un poids moléculaire optimal pour la fluidité à un rapport E/C donné. En utilisant trois PC ayant différents poids moléculaire, la valeur maximale de l'affaissement est observée pour un poids moléculaire de 25000, 21900 et 16000 g/mole avec

respectivement des rapports E/C de 0.5, 0.3 et 0.2. Cependant les valeurs observées lors de la mesure de la fluidité étaient très petites.

#### 1.4.2.5. Contre- ion et impuretés

L'affinité d'un polyélectrolyte dépend du contre- ion. Simard et *al* [56] ont prouvé que le sel de Calcium de PNS est moins efficace que le sel de Sodium du même polymère. Cette opération a été expliquée, par Pierre et *al* [55], indiquant que les ions de calcium sont adsorbés sur le gel et l'ettringite de C-S-H et ainsi augmentent l'adsorption du superplastifiant. L'étude faite par Ranc [26] sur un problème de chantier démontre que l'utilisation d'un plastifiant à base de lignosulfonate peut déplacer les interactions sulfate/aluminate vers le bas selon la teneur en ions  $SO_4^{-2}$ , surtout en présence d'anhydrite. Trois situations différentes peuvent se présenter et sont illustrées à la figure 1-16 :

- Si la quantité d'ions sulfate en solution est juste suffisante pour contrôler l'hydratation des phases aluminates (situation 1), l'utilisation d'un adjuvant dispersant peut provoquer un déficit en sulfates et entraîner une prise rapide
- Si la solution est légèrement sursaturée en ions sulfate (situation 2), l'utilisation d'un dispersant entraînera un abaissement de cette sursaturation sans conduire à un déficit; la rhéologie sera normale
- Si la solution est sursaturée en ions sulfate, l'utilisation d'un adjuvant dispersant abaissera la sursaturation et l'on assistera à une amélioration de la rhéologie (situation 3). Sans adjuvant on se trouve en situation de fausse prise



**Figure 1-16 :** Influence des interactions polynaphtalene/sulfate de calcium sur la prise [57]

#### 1.4.2.6. Effet des produits hydratés

D'autres chercheurs ont essayé de vérifier si l'adsorption d'un superplastifiant se produit dans les produits anhydres ou hydratés. Rossington et *al.* [58] ont constaté que l'adsorption du superplastifiant se produit sur les phases hydratées plutôt, que sur les phases anhydres. Massazza et *al.* [59] ont fait une tentative d'examiner des suspensions de  $C_3A$ , d'ettringite, et du monosulfate dans une solution non aqueuse du diméthylsulfoxyde (DMSO). Ils ont observé que les isothermes d'adsorption des superplastifiants montrent une forte adsorption sur des phases de calcium sulfoaluminate et une plus petite adsorption sur le  $C_3A$ . Des résultats similaires ont été trouvés par Ramachandran [60] lors de l'examen du système  $C_3A$ -gypse- $H_2O$ . Cependant, ces résultats n'ont pas été confirmés par Uchikawa et *al.* [9] où la quantité de PNS adsorbée sur  $C_3A$  et  $C_4AF$  est plus grande que celle sur l'ettringite. C'est-à-dire, lorsqu'on ajoute 100 mg/g de PNS, la quantité adsorbée sur le  $C_3A$ ,  $C_4AF$  et l'ettringite est respectivement de 94.3, 91.5, et 37.4 mg/g. Ils ont conclu que la quantité de PNS adsorbé est beaucoup plus élevée sur les aluminates anhydres que sur une phase hydratée.

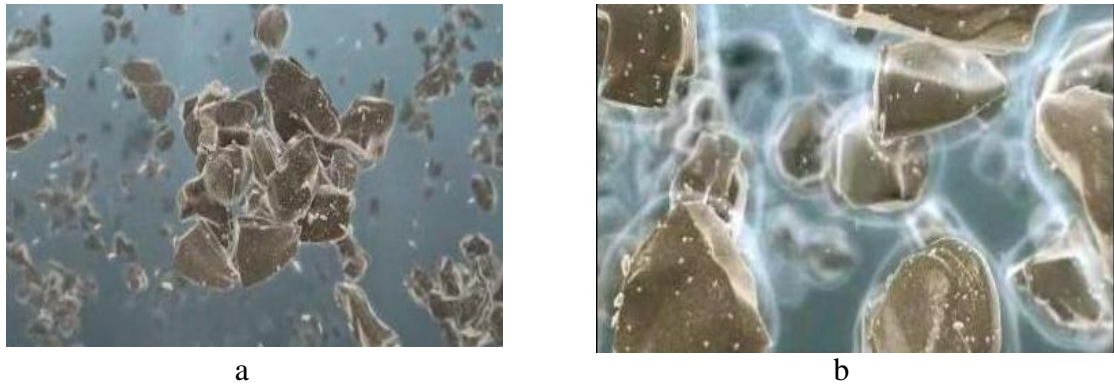
#### 1.4.2.7. Effet du potentiel Zéta

Beaucoup de chercheurs ont essayé de comprendre les caractéristiques d'adsorption en mesurant le potentiel zéta de chaque minéral de ciment. La dépendance de la charge de surface sur le pH a été examinée avec le  $C_3A$  pur mélangé dans des solutions aqueuses par Tadros et *al.* [61]. Ils ont constaté que les charges de surface et le potentiel zéta du  $C_3A$  est fortement dépendant du pH de la solution. Leurs résultats indiquent qu'une petite différence de pH, pourrait affecter de manière significative la quantité de PNS adsorbée sur les particules de ciment. D'autres travaux [62] ont confirmé que le potentiel Zeta du  $C_3S$  est négatif tandis que celui du  $C_3A$  est positif, ceci explique la forte attraction de la surface du  $C_3A$  au groupe de sulfonâtes généralement négatif. Il a été également démontré que les phases aluminates ont un potentiel zéta positif et les phases silicates un potentiel zéta négatif. En présence de superplastifiants, toutes les phases minérales présentaient un potentiel zéta négatif [8].

### 1.5. Interactions Ciment-Superplastifiants

Les superplastifiants sont généralement introduits dans l'eau de gâchage avant le mélange avec le ciment. Au moment où les grains de ciment entrent en contact avec l'eau, les

molécules de superplastifiant participent à la saturation des charges de surface au même titre que les autres ions présents en solution. D'après Ramachandran et *al* [63], les superplastifiants empêchent la formation néfaste des congglomérats (figure.1-17). Les molécules du superplastifiant se fixent par adsorption sur l'interface entre le grain de ciment et l'eau de gâchage. Une fois adsorbé, le superplastifiant forme une charge négative autour de chaque grain de ciment qui se repoussent les uns des autres. La dispersion qui en résulte réduit la viscosité de la pâte de ciment et augmente l'ouvrabilité.



**Figure 1-17** : Schéma de la structure d'une pâte de ciment a) flocculée (sans superplastifiant); b) dispersée (avec superplastifiant) [64]

Plusieurs recherches traitent le mode d'action des superplastifiants, surtout les polynaphtalènes et les polymélamines. Bien que les mécanismes d'action commencent à être mieux compris, certains points concernant leurs propriétés physico-chimiques et leurs effets sur l'hydratation du ciment restent encore à élucider. Jolicoeur et *al* [65], ont trouvé que les interactions de ciment-superplastifiant peuvent être divisées en effets physiques et chimiques. Les effets physiques se produisent immédiatement (c.-à-d.  $t=0$ ) et incluent l'adsorption de superplastifiant par les forces électrostatiques et de van der Waals, induction des forces répulsives électrostatiques et des forces répulsives stériques. Les effets chimiques sont des conséquences de l'hydratation de ciment (c.-à-d.  $t \gg 0$ ).

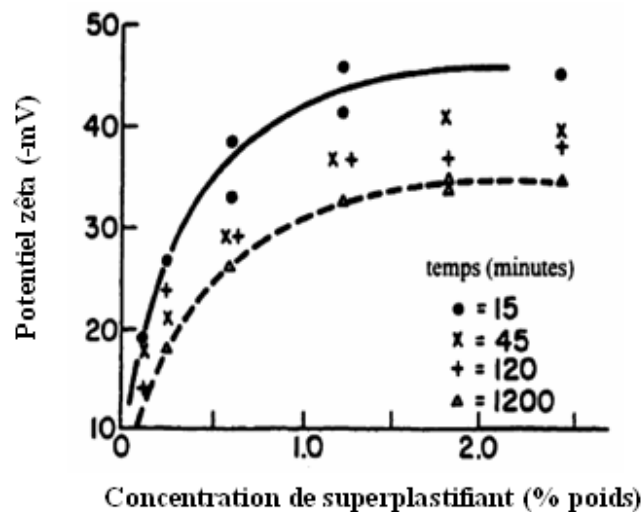
Certains chercheurs [ 63, 66] ont abordé le problème en étudiant le mode d'action des superplastifiants, d'une part, par leurs effets physiques sur les particules de ciment (valable pour toutes les particules) et, d'autre part, par leurs effets chimiques (spécifique à la particule

de ciment). Pour atteindre cet objectif, on doit éclaircir les aspects physico-chimiques des interactions entre les molécules du superplastifiant et les grains de ciment. La compréhension de l'influence des molécules de superplastifiant sur les réactions initiales d'hydratation et l'évolution de la microstructure et son aptitude à s'adsorber sur un grain de ciment en fonction de ses propriétés physicochimiques s'avère nécessaire [67, 68, 69]. Parmi les propriétés fonctionnelles des superplastifiants qui agissent sur la fluidité et sur l'hydratation des pâtes de ciment, on peut en citer les points ci-dessous :

### 1.5.1. Action de dispersion du superplastifiant

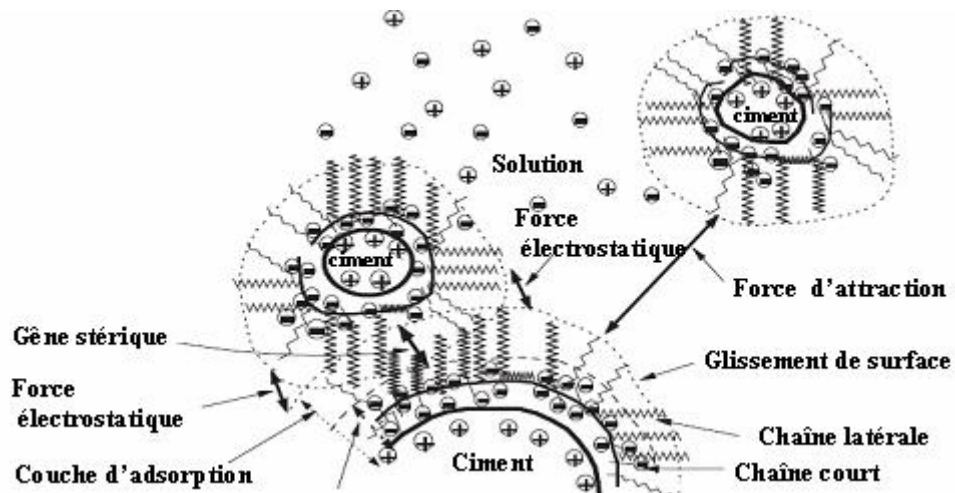
#### 1.5.1.1 Dispersion par répulsion électrostatique

L'adsorption des superplastifiants à la surface des particules de ciment est à l'origine d'un potentiel de surface important, comme en témoigne les courbes de potentiel zéta illustrées sur la figure 1-18. Plus le potentiel de surface est élevé, plus la force de répulsion est grande. Une densité de charge importante du polymère permet une adsorption forte et une bonne répulsion électrostatique. De même, Daimon et *al* [70,71] ont affirmé l'importance des forces répulsives électrostatiques induites par le superplastifiant. L'addition d'un superplastifiant augmente le potentiel négatif zéta des particules de ciment, causant des forces répulsives plus importantes entre la particule de ciment.



**Figure 1-18 :** Variation du Potentiel zéta des particules de ciment en présence de Superplastifiant [72].

D'après Collepari et al. [52], plus le dosage du PNS est élevé plus le montant de PNS adsorbé sur les particules de ciment est élevé, et plus la fluidité des pâtes de ciment est importante. Ce phénomène est basé sur le fait que l'adsorption de PNS peut transmettre une charge électrique négative sur la surface des particules de ciment où la figure 1-19 montre une répulsion électrostatique entre trois grains de ciment. Plusieurs résultats de recherche [70, 71, 7] ont confirmé l'effet des forces répulsives électrostatiques induites par le superplastifiant sur la fluidité des pâtes. Il a été montré que l'addition du superplastifiant de PNS augmente le potentiel négatif zêta des particules de ciment causant des forces répulsives plus importantes entre les particules. Les polymères de grand poids moléculaire mènent à courte portée des forces répulsives, tandis que les polymères de faible poids moléculaire exhibent habituellement une faible réduction de l'eau et une basse fluidité de la pâte.

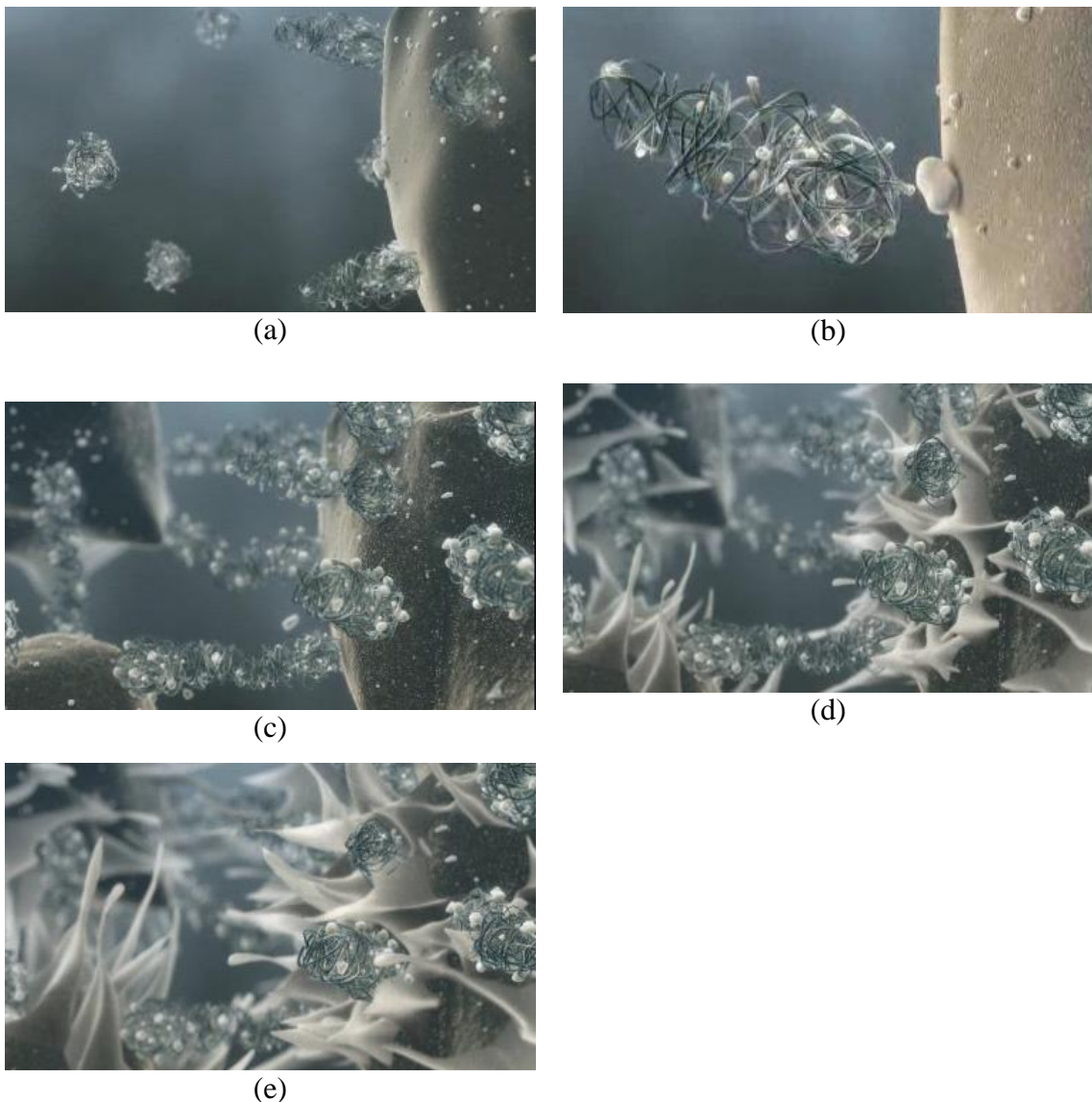


**Figure 1-19 :** Schématisation de l'adsorption et de la répulsion pour des particules de ciment [73].

#### 1.5.1.2 Dispersion par effet stérique

L'effet stérique apparaît quand les molécules adsorbées forment une structure multicouche autour des particules où elles ne peuvent pas physiquement s'approcher très étroitement (figure 1-20). A ce propos beaucoup de chercheurs ont essayé de clarifier l'importance relative des forces électrostatiques et stériques en dispersant les particules de ciment.

Selon les résultats de Neubauer et *al* [74], la dispersion des grains de ciment observée est principalement due aux répulsions stériques. Cette répulsion s'explique par la difficulté pour les chaînes de polymères de s'enchevêtrer lorsque les particules s'approchent. Cela résulte de la perte d'entropie engendrée lorsque les chaînes s'entremêlent, et de la pression osmotique créée par l'augmentation de la concentration en polymères entre les deux particules. Les molécules de superplastifiants constituent alors des barrières physiques entre les particules pour empêcher la coagulation. Une augmentation de l'épaisseur de la couche adsorbée et de la densité des chaînes des polymères améliore la dispersion. Ainsi, les polymères de grande masse moléculaire accentuent la répulsion stérique.



**Figure 1-20** : Répulsion stérique selon plusieurs degrés d'adsorption [64]

Les forces répulsives stériques induites par des molécules de superplastifiant sont également importantes comme mécanisme de dispersion [75]. Plus récemment, l'importance relative des effets électrostatiques et stériques a été considérée dans la répulsion de particule-particule par Uchikawa et al [76]. Leurs conclusions sont que les forces électrostatiques jouent un rôle important dans le mécanisme de dispersion pour des superplastifiants de type PNS et PMS tandis que les forces stériques sont critiques pour un superplastifiant de type PC.

### *1.5.2. Effet sur l'hydratation du ciment.*

Il a été constaté que les molécules de superplastifiant dispersent non seulement des particules de ciment, mais sont impliqués dans l'hydratation, ce qui conduit à des modifications de la morphologie des hydrates. Baussant [68] a fait observer que, en l'absence de superplastifiant, l'ettringite a été trouvé bien cristallisé, alors que lors de la présence du superplastifiant de PNS, l'ettringite a été modifié selon une forme sphéroïdale. En outre, plus le poids moléculaire du PNS est élevé, plus la dimension des cristaux est petite. [68]. De même, la chaleur d'hydratation initiale diminue avec la présence de PNS à faible poids moléculaire, alors que les travaux de Jolicoeur et al. [66] prouvent que la chaleur de l'hydratation initiale n'est pas modifiée par l'addition d'un PNS ayant un poids moléculaire plus que 100kD.

Il a été observé que le superplastifiant de type MLS a la capacité à s'insérer dans les phases AFm du ciment pur [69]. La couche de monosulfo-aluminate (AFm) formée autour du ciment augmente la surface que doit recouvrir le superplastifiant pour disperser les grains ce qui engendre une augmentation du dosage du superplastifiant [77]. De même, des phases lamellaires intercalées par des polymères de type PC sont observables au microscope électronique à transmission, et que des distances basales de 2 à 4 nm sont mesurées par DRX, en fonction de la longueur des greffons [78].

#### *1.5.2.1. Effet sur l'hydratation du silicate tricalcique*

L'intérêt de l'étude de l'influence des additifs sur l'hydratation du silicate tricalcique se justifie aisément lorsque l'on rappelle que cette phase est d'une part la phase la plus abondante dans un ciment et que d'autre part elle est à l'origine des propriétés mécaniques de la pâte durcie. Il est alors assez clair que toute action sur cette hydratation est susceptible de modifier



à la fois les propriétés du béton frais liées à l'avancement de l'hydratation des phases constituant le ciment mais également les propriétés du béton durci. Il est bien établi que l'utilisation de superplastifiant permet un gain de résistances mécaniques du fait de la réduction d'eau [79]. La plupart des travaux relatifs à l'influence des superplastifiants sont en fait réalisés sur des ciments. Ainsi, mêmes si un certain nombre de chercheurs [80] évoquent l'action de ce type d'additif sur l'hydratation du silicate tricalcique, ils s'attachent pour la plupart à remarquer un effet retardateur sur l'hydratation.

La littérature est ainsi relativement abondante concernant les PNS et l'influence de leur masse molaire sur la cinétique d'hydratation des phases silicates. Anderson et *al* [47] mentionnent qu'une augmentation de la masse moléculaire améliore les propriétés rhéologiques du béton. Différents travaux [80,81] mentionnent qu'en présence de PNS l'hydratation est plus rapide lorsqu'elle démarre, par rapport au béton non adjuvanté, cette observation serait liée à l'effet dispersant de ce type de molécule sur les grains de ciment.

#### 1.5.2.2. Effet sur l'hydratation de l'aluminate tricalcique

L'hydratation de l'aluminate tricalcique s'avère être d'un intérêt majeur. Son hydratation est en effet plus rapide que celle du silicate tricalcique et par conséquent sa réactivité sera en partie à l'origine des propriétés d'usage du ciment au jeune âge et notamment de son ouvrabilité que l'on cherche à contrôler par l'addition des superplastifiants. L'hydratation de l'aluminate tricalcique présente d'importantes particularités aux conséquences non négligeables. En employant un superplastifiant, le  $C_3A$  et  $C_4AF$  exercent l'affinité la plus élevée pour adsorber des superplastifiants. Comme le  $C_3A$  est la phase de ciment qui s'hydrate le plus rapidement, elle représente la phase la plus importante pour des interactions de ciment-superplastifiant. En fait, l'analyse d'eau interstitielle a prouvé que les ciments riches en  $C_3A$  consomment un grand nombre de polymères supplémentaires de superplastifiant dans les premières minutes d'hydratation de ciment [82,83].

L'examen de la littérature laisse apparaître des points de vue différents sur l'effet des superplastifiants sur l'hydratation du  $C_3A$ . En effet, si l'ensemble des chercheurs sont d'accord sur le fait que les additifs modifient la morphologie des hydrates et de l'ettringite en particulier

[84, 85], en revanche, les opinions divergent concernant l'effet des superplastifiants sur la cinétique d'hydratation. Sakai [86], et Simard [56] affirment ainsi que les superplastifiants de type PNS ou PC entraînent une diminution de la vitesse de formation de l'ettringite liée à une forte adsorption des additifs lors de la formation de cet hydrate à la surface des grains de ciment. Alors que Odler [87] et *al* affirment une accélération de la vitesse de formation d'ettringite en présence de PNS. D'autre part, Collepari [88] confirme que la présence de PNS ne modifie pas la cinétique d'hydratation du C<sub>3</sub>A. De plus, Fernon et *al* [89] ont montré que l'incorporation des superplastifiants aux produits initiaux d'hydratation a un effet négatif sur la dispersion, car la moindre présence de superplastifiant peut disperser les particules de ciment. D'ailleurs, de divers superplastifiants se sont avérés être différemment adsorbés par le même ciment.

## 1.6. Conclusion

Ce chapitre a fait montré l'influence des adjuvants chimiques utilisés sur l'hydratation et la prise du ciment selon la façon dont ils sont utilisés. Il est bien montré que la compréhension des différents types d'interaction : chimiques, physiques ou physico-chimiques qui ont lieu entre les adjuvants et les composés du ciment est donc nécessaire afin d'optimiser les propriétés fonctionnelles des adjuvants

# *Chapitre II*

*Effet de la température sur l'interaction  
ciment- superplastifiant*

## 2.1. Introduction

Les propriétés rhéologiques des coulis de ciment sont influencées par plusieurs facteurs tels que le rapport E/C, la présence des adjuvants chimiques ou minéraux ainsi que la température ambiante. En effet, la température affecte la cinétique d'hydratation d'un côté et d'autre côté affecte la flexibilité et l'efficacité des chaînes du superplastifiant utilisé. D'où il est nécessaire d'augmenter le dosage en superplastifiant SP ou d'augmenter le rapport E/C pour compenser la perte de fluidité causée par cette élévation de température qui active l'hydratation des différentes phases du ciment. Par contre, à des basses températures la fluidité est généralement améliorée suite à un blocage de l'hydratation. Ainsi, afin de garder le même niveau de fluidité il est parfois nécessaire de diminuer le dosage en SP ou de diminuer le rapport E/C. Cependant, à des très basses températures, l'efficacité de SP peut être limitée et, par conséquent la viscosité sera plus élevée.

Peu de travaux concernant l'effet de la température sur la fluidité et la rhéologie des pâtes de ciment ont été présentés dans la littérature. Cependant, il est bien connu que l'élévation de température entraîne une baisse et une perte rapide de fluidité même si certains ciments adjuvantés échappent à cette règle. Jolicoeur et Nawa [90,91] observent que la fluidité de différents ciments suit un comportement non linéaire avec l'augmentation de la température du mortier. Ce comportement peut être expliqué par deux grands facteurs [91]:

- L'élévation de la température fait augmenter la production des hydrates ce qui diminue la fluidité.
- L'élévation de la température fait augmenter le taux de superplastifiant adsorbé ce qui augmente la fluidité. Cette augmentation est largement influencée par le model de suspension où des comportements inverses se sont observés.

## 2.2. Variation de propriétés rhéologiques

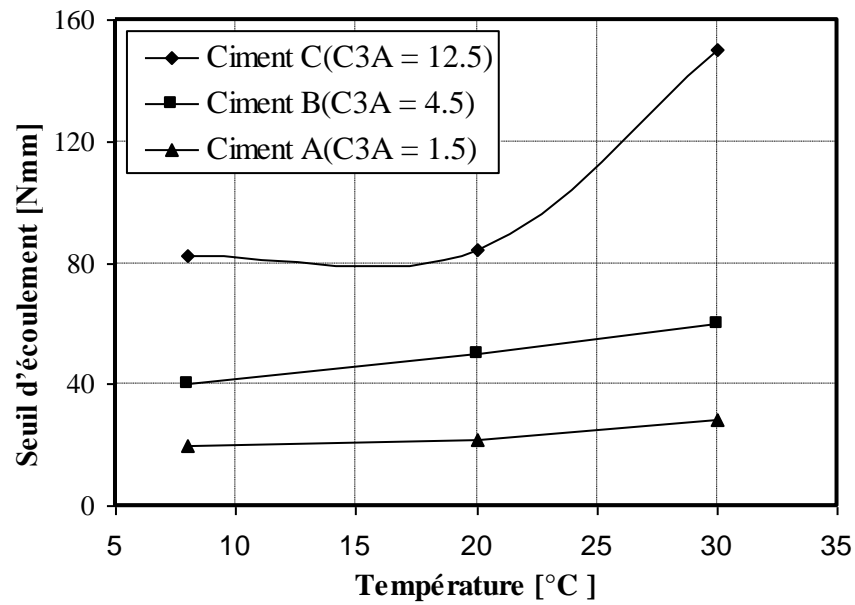
L'effet de la température sur la viscosité des pâtes de ciment est directement lié à leurs compositions chimiques. Les travaux de Griesser [93] illustrés sur la figure 2-1 montrent que les ciments riches en  $C_3A$  se manifestent par un plus fort seuil d'écoulement. En général, le

seuil d'écoulement augmente avec la température, cette dépendance est plus prononcée en cas du ciment C riche en  $C_3A$  (12.6%) où sa valeur double lorsque la température passe de 20 à 30°C. Le coefficient de viscosité relative a tendance à diminuer avec l'élévation de température et semble relié au type de superplastifiant utilisé comme le montre la figure 2-2. La viscosité augmente au cours du temps et autant plus si la température ambiante est élevée surtout entre 20 et 30° C.

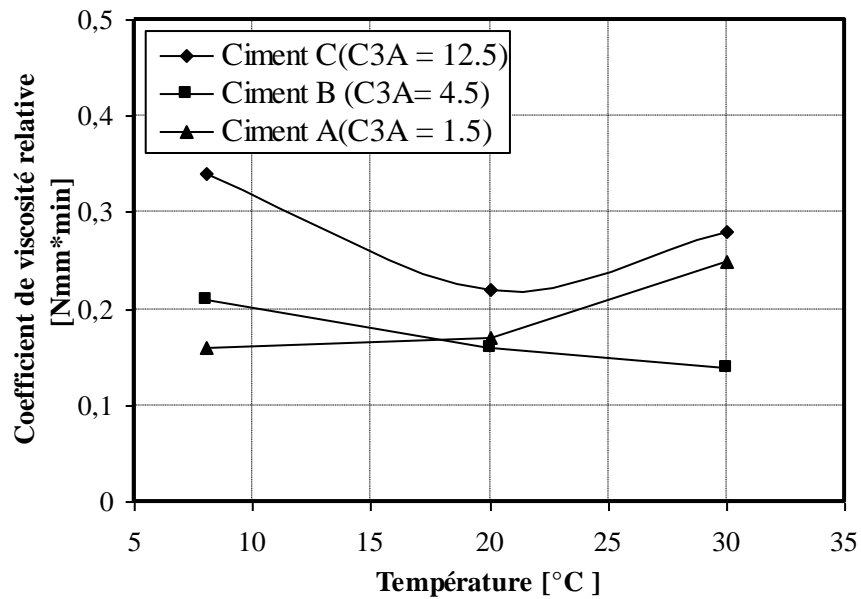
Golaszewski et Szwabowski [39] observent une forte influence de l'élévation de la température sur le comportement rhéologique des mortiers accompagné d'une augmentation du seuil d'écoulement et une diminution de la viscosité plastique. Avec l'élévation de la température la contrainte de cisaillement diminue, cette diminution est beaucoup plus marquée en présence d'un superplastifiant [94].

Griesser [93] 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. Les travaux de Ammar Yahia [95] laissent apparaître une amélioration de la fluidité due à une diminution de la température de 30 à 10°C comparable à celle obtenue lorsque le rapport E/C est augmenté de 0.38 à 0.42. La réduction de la température de 30 à 10°C résulte en une augmentation de 23% et 12% de l'ouvrabilité pour un rapport E/C respectivement de 0.38 et 0.42. L'étude rhéologique des pâtes de ciment adjuvantées et exposées à des températures allant de 5 à 45°C montre des résultats très complexes à être identifier par un modèle unique d'où la proposition d'un modèle pseudoplastique [96].

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 [97]. Le changement important de la rhéologie en fonction du temps et de la température pour les mortier avec fumée de silice peut être attribué à la forte demande en eau causée par la forte finesse de la fumée de silice [97]. 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.



**Figure 2-1:** Variation du seuil d'écoulement en fonction de la température pour différentes pâtes de ciments [93].

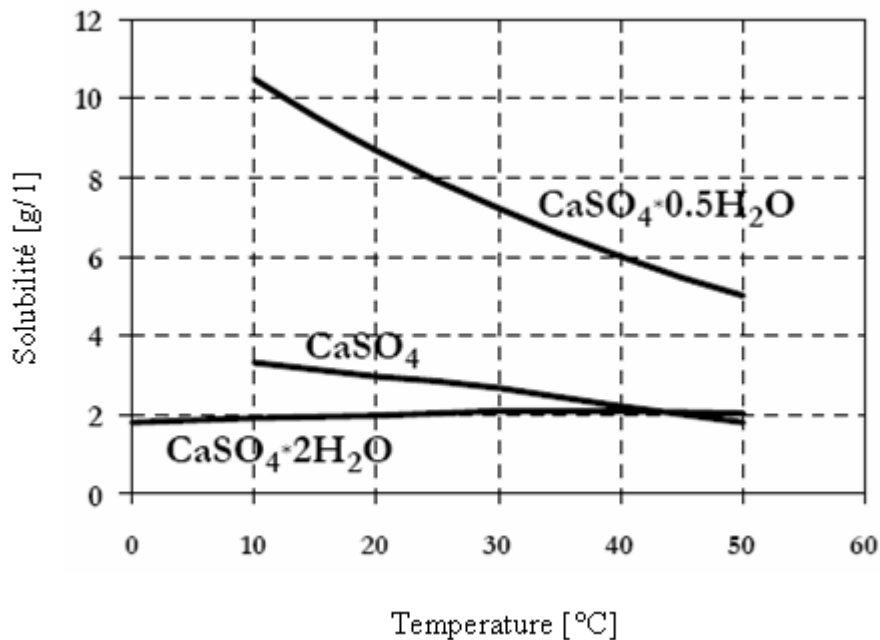


**Figure 2-2:** Coefficient de viscosité relative en fonction de la température et le dosage en superplastifiant [93].

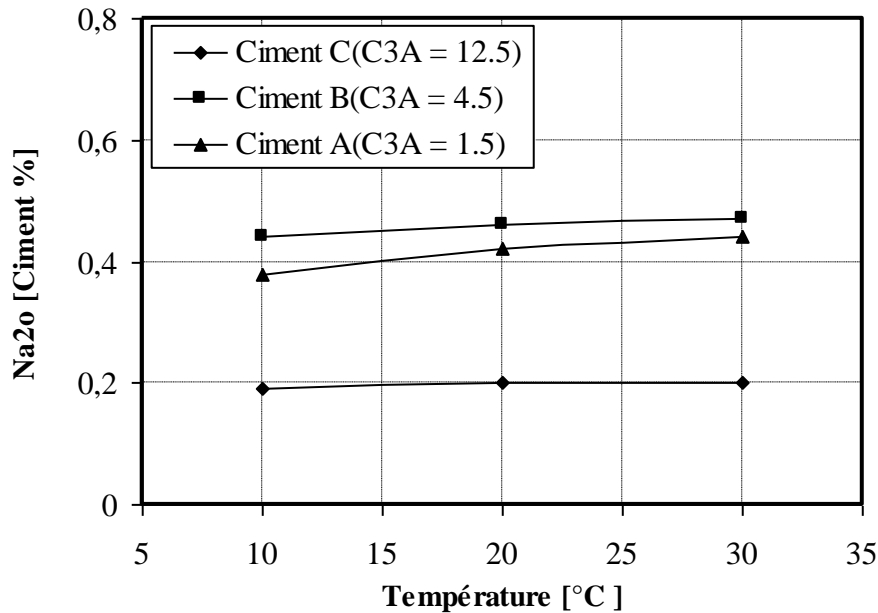
### 2.3. Variation de la solubilité des ions

Lorsque le gypse est mélangé avec de l'eau les ions de sulfates et de calcium se dissolvent dans la solution et l'excès se précipite au fond. Il s'avère selon les résultats de la figure 2-3 [93] que la solubilité du gypse semihydraté diminue avec l'élévation de température tandis que la solubilité du gypse anhydre et le bihydrate sont moins sensibles à l'élévation de température. Cette solubilité est largement influencée par la présence d'ions soluble dans l'eau [98]. De même la dissolution de  $C_3A$  augmente lorsque la température est élevée ce qui nécessite plus d'ions de sulfates pour couvrir la quantité dissoute en entraînant une baisse de fluidité.

L'élévation de la température entraîne une augmentation de la solubilité des ions de sulfates, de sodium et de potassium dans une pâte avec et sans superplastifiant. La figure 2-4 illustre les résultats trouvés par [93] où le degré de solubilité des alcalis avec l'élévation de température est directement lié au type de ciment. D'autre part, la solubilité des alkali sulfates augmente avec la température ce qui rend la solubilité des sulfates dans le ciment peu complexe.



**Figure 2-3:** Solubilité du gypse dans l'eau en fonction de la température [98]



**Figure 2-4:** Concentration des alkalis dans la solution en fonction de la température pour différents types de ciments [93]

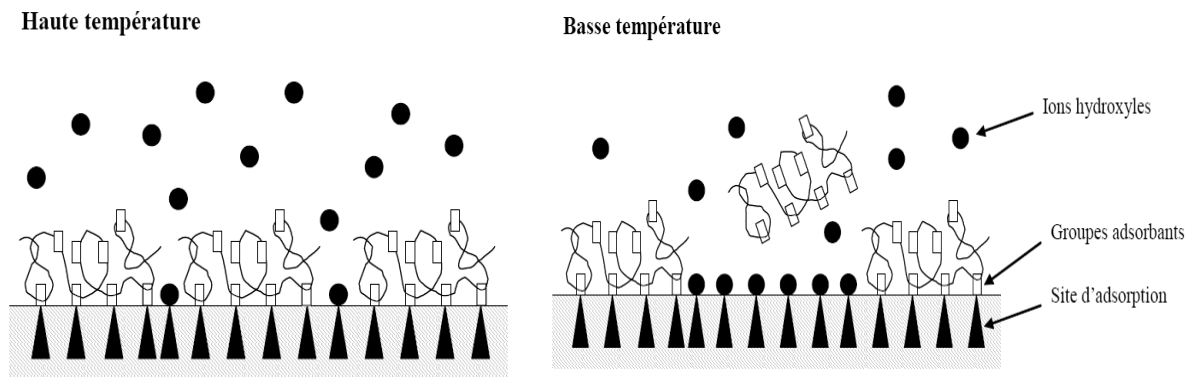
## 2.4. Variation de l'hydratation du ciment

La température a pour effet d'accélérer significativement l'hydratation du ciment, la consommation plus rapide des grains de ciment génère du C-S-H et de la portlandite en quantités importantes dès les premières heures, ce qui induit un développement de rigidité plus rapide. De la même manière, les sources de sulfates sont épuisées plus rapidement et les phases aluminates de type AFm sont observées à jeunes âge lorsque la température augmente [99]. L'ettringite produit durant les premières minutes dépend du type de ciment et de la température. Cette surproduction est de 50% pour un ciment riche en C<sub>3</sub>A lorsque la température augmente de 10 à 30 °C. A ce rôle purement cinétique de la température s'ajoute un rôle thermodynamique ; la température influe sur la nature, la morphologie et la stabilité des hydrates formés [95].



## 2.5. Variation de l'adsorption du superplastifiant

Sous une température élevée, on observe une compétition d'adsorption pour la surface entre les ions OH et le superplastifiant. Les ions hydroxyles possèdent une plus faible enthalpie d'adsorption que le superplastifiant, en augmentant la température leur désorption est favorisée. Les nombreuses charges du superplastifiant lui confèrent une enthalpie d'adsorption plus grande que celles des hydroxyles. Son adsorption sera donc moins sensible à l'augmentation de la température. La figure 2-5 [1] schématise une adsorption du superplastifiant favorisée par la haute température par rapport aux ions hydroxyles. Il a été constaté que l'élévation de température affecte le degré d'adsorption du superplastifiant sur les grains de ciment, l'épaisseur de la couche adsorbée, le taux d'hydratation du ciment, la concentration des ions dans la solution aqueuse et la couche d'hydrates formés en surface des grains, conduisant à une variation des propriétés rhéologiques de la pâte [97].

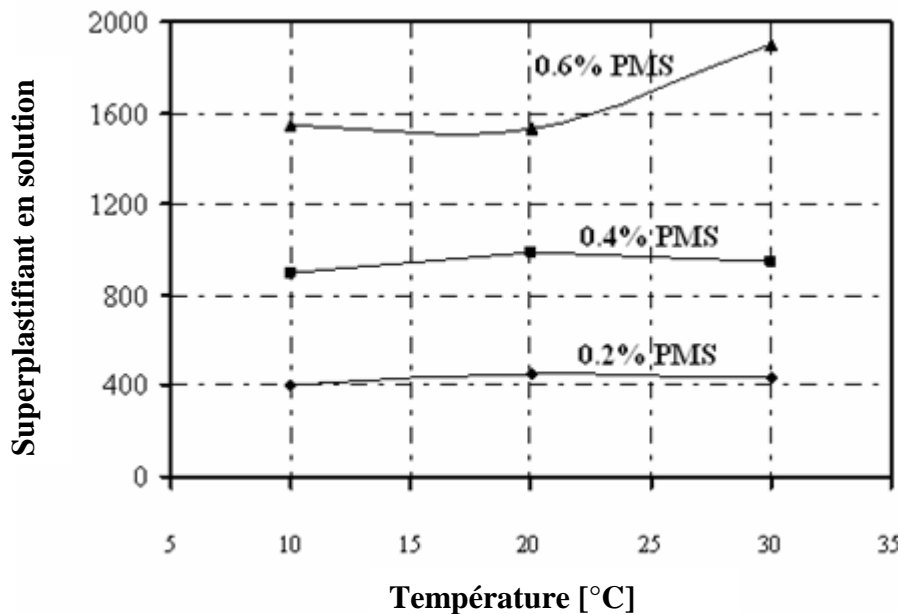


**Figure 2-5 :** *Compétition de l'adsorption entre les ions hydroxyles et le superplastifiant sous haute et basse température [1]*

## 2.6. Variation du dosage de saturation

La quantité de superplastifiant adsorbée est fortement influencée par l'élévation de la température et dépend du type et du dosage du superplastifiant et du type de ciment. Le dosage de saturation a été trouvé largement dépendant de la température du coulis [96]. De même, Les travaux de Grisseur [93] illustrés sur la figure 2-6, montrent que la quantité du PMS est indépendante de la température pour un dosage inférieur à 0.4%. Pour un dosage de 0.6% du PMS, la quantité de superplastifiant restant en solution augmente de 25% lorsque la température croît de 20 à 30°C. Un dosage de 0.7% de polycarbolylate est requis pour les coulis quand le superplastifiant est ajouté au début du malaxage. Lorsque l'ajout du

superplastifiant est différé, le dosage de saturation est de 0.9% pour une température allant de 5 à 25°C et de 0.7% pour une température de 45°C [96].



**Figure 2-6 :** *Quantité adsorbée de PMS en fonction du dosage et de la température (E/C=0.3)[93]*

## 2.7. Variation de la compatibilité

La température du mélange peut affecter l'efficacité et la compatibilité du superplastifiant en présence des substances du ciment et des additions minérales. Lorsqu'un superplastifiant est ajouté, la viscosité varie en fonction de son efficacité avec le ciment utilisé où chaque ciment-superplastifiant présente sa propre particularité. Cette particularité est souvent attribué à la valeur optimale en équivalent alkali dans la solution et qui varie avec l'augmentation de température. [93]

## 2.8. Conclusion

Il est bien clair que la température joue un grand rôle sur le comportement du ciment et du béton au jeune âge. Ses effets sur la cinétique d'hydratation, la solubilité des hydrates ainsi que sur la rhéologie des bétons n'est plus contestée par les promoteurs de la construction. De ce fait, l'étude de son influence sur l'efficacité de certains adjuvants commercialisés dans notre pays, lorsqu'ils sont incorporés avec les ciments composés, est plus que nécessaire.

# *Chapitre III*

*Essais caractérisant la rhéologie  
du couliset du béton*

### **3.1. Introduction**

Différentes techniques sont employées et préconisées par les normes pour évaluer le comportement rhéologique des coulis et des bétons. Certaines sont implicites et faciles à utiliser sur chantier d'autres nécessitent des appareils de pointe et évaluent les constantes rhéologiques avec précision. Dans ce chapitre, on présente les principaux essais utilisés par différents chercheurs pour étudier le comportement visqueux des pâtes et des bétons.

### **3.2. Essais sur coulis**

Deux familles d'essais sont utilisées pour caractériser les coulis de ciment au laboratoire : les essais pour évaluer la fluidité et les essais pour déterminer la stabilité. Les essais employés pour évaluer la fluidité des mélanges sont le viscosimètre à cylindres coaxiaux et le mini cône d'affaissement (mini slump). Par ailleurs, les essais employés pour évaluer la stabilité des mélanges sont l'essai de lessivage et l'essai du ressuage forcé. Il existe d'autres essais pour évaluer la stabilité des coulis de ciment dont on cite le ressuage statique et l'essai de sédimentation.

#### **3.2.1. Viscosimètre à cylindres coaxiaux**

Cet appareil permet de mesurer la viscosité des coulis ainsi que leur seuils de cisaillement et l'éventuelle présence de thixotropie. Le coulis de ciment placé entre les deux cylindres exerce une force de frottement qui se traduit par un moment de cisaillement. Le moment induit est proportionnel à la viscosité du coulis, aux dimensions des cylindres et au taux de cisaillement qui est déduit de la vitesse de rotation. Il s'agit de mettre un coulis entre deux cylindres coaxiaux dont l'un est fixe et l'autre mobile. Le cylindre mobile transfère son mouvement au cylindre fixe. Ce dernier résiste à ce mouvement en exerçant une résistance en cisaillement proportionnelle à la viscosité du coulis et à la vitesse de rotation maintenue constante. L'appareil est placé sur une table horizontale exempte de vibration dont le schéma est représenté sur la figure 3-1.

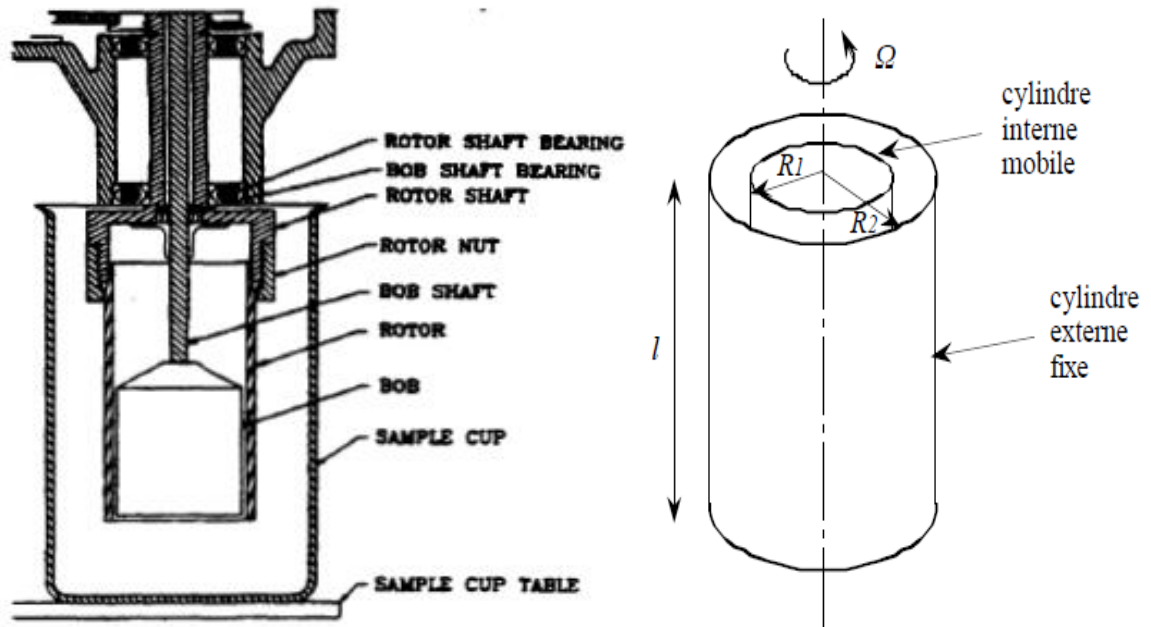
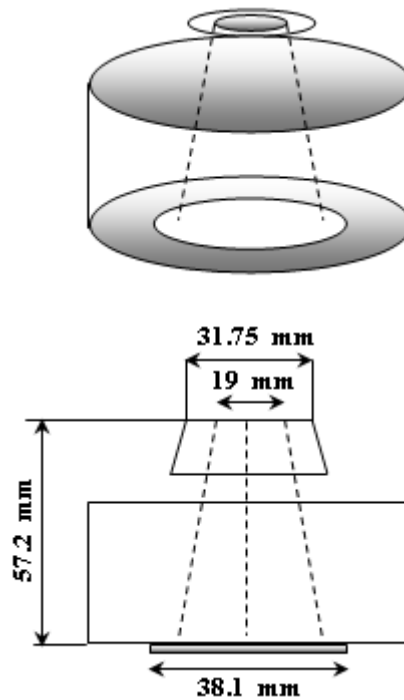


Figure 3-1 : Viscosimètre à cylindres coaxiaux

### 3.2.2. Mini cône d'affaissement

Le mini cône d'affaissement (figure 3-2) se caractérise par un diamètre supérieur de 19 mm, un diamètre inférieur de 38 mm et une hauteur de 57 mm. Les dimensions de ce mini cône sont proportionnelles à celles utilisées pour le béton. Le mini cône d'affaissement est généralement utilisé pour étudier l'évolution de la maniabilité du coulis, en fonction du temps, ce qui permet de prédire le comportement du coulis durant les travaux sur chantier. Ceci implique la mesure du diamètre d'étalement du coulis sur la plaque à différents intervalles de temps après la préparation du coulis (5, 30, 60, et 120 min). Cependant, dans certains cas, et selon les besoins de l'étude, une mesure ponctuelle après 5 et 60 minutes de la préparation du coulis peut s'avérer suffisante.



**Figure 3-2 :** Mini cône d'affaissement

### 3.2.3. Cône d'écoulement

Le cône de Marsh est utilisé généralement pour déterminer l'indice de fluidité des coulis de ciment. Cependant, l'effet thixotropique des coulis contenant des agents colloïdaux nécessite des attentions particulières aux résultats obtenus. En effet, pour être plus rigoureux dans les mesures du temps d'écoulement et pour éviter le problème lié à la variation de la charge, il est recommandé de mesurer le temps successivement après écoulement de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 et 1 000 ml de coulis. Généralement, Cet essai consiste à verser 1,1 litre de coulis dans l'entonnoir du cône de Marsh (figure 3-3) et à mesurer le temps que mettent pour s'écouler sous leur propre poids les 700 premiers ml de coulis à travers l'orifice inférieur qui a un diamètre de 5 mm. Cette mesure est effectuée 5 et 60 minutes après le début du malaxage. Plus le temps d'écoulement est long, plus le coulis est visqueux.

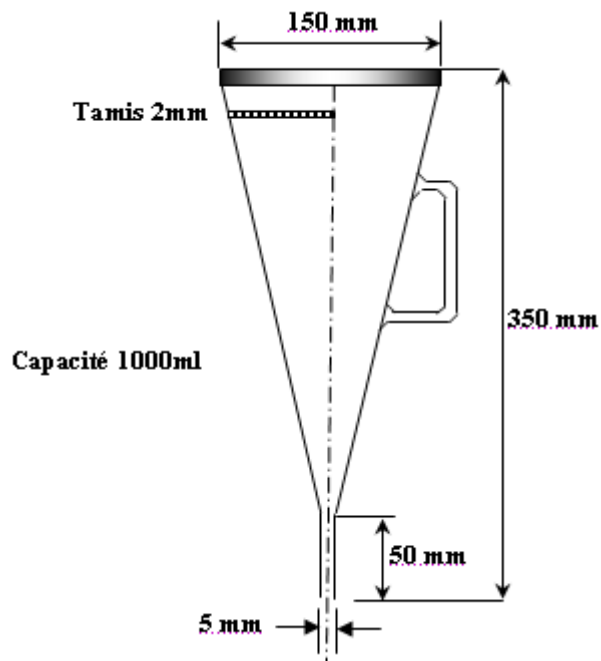


Figure 3-3 : Cône d'écoulement

### 3.2.4. Essai de lessivage

L'essai consiste à verser un volume constant de coulis de ciment dans un même volume d'eau et de mesurer la quantité de coulis non lessivable et qui a donc remplacé l'eau. Le coulis est versé d'une hauteur fixe à travers un entonnoir dans un récipient plein d'eau (figure 3-4). Une autre façon de procéder est de verser le coulis sous une pression.

- Déterminer la masse des récipients vides avant essai ( $M_1$  et  $M_2$ ),
- Remplir le premier récipient d'eau,
- Placer le récipient plein d'eau en dessous de l'entonnoir,
- Remplir le deuxième récipient de coulis; le peser et le verser dans l'entonnoir ( $M_{\text{coulis}}$ ),
- Peser à nouveau le deuxième récipient ( $M_3$ ) et déterminer la quantité de coulis qui a été réellement utilisée dans l'essai de lessivage ( $M_r$ );  $M_r = M_{\text{coulis}} - (M_2 + M_3)$ .
- Peser de nouveau le récipient d'eau (coulis non lessivé et de l'eau,  $M$ ),
- Déterminer la quantité de coulis lessivé  $M_{\text{lessivée}} = M_r - M$
- Déterminer le pourcentage de coulis lessivé  $L (\%) = \frac{M_{\text{lessivé}}}{M_r} \times 100$

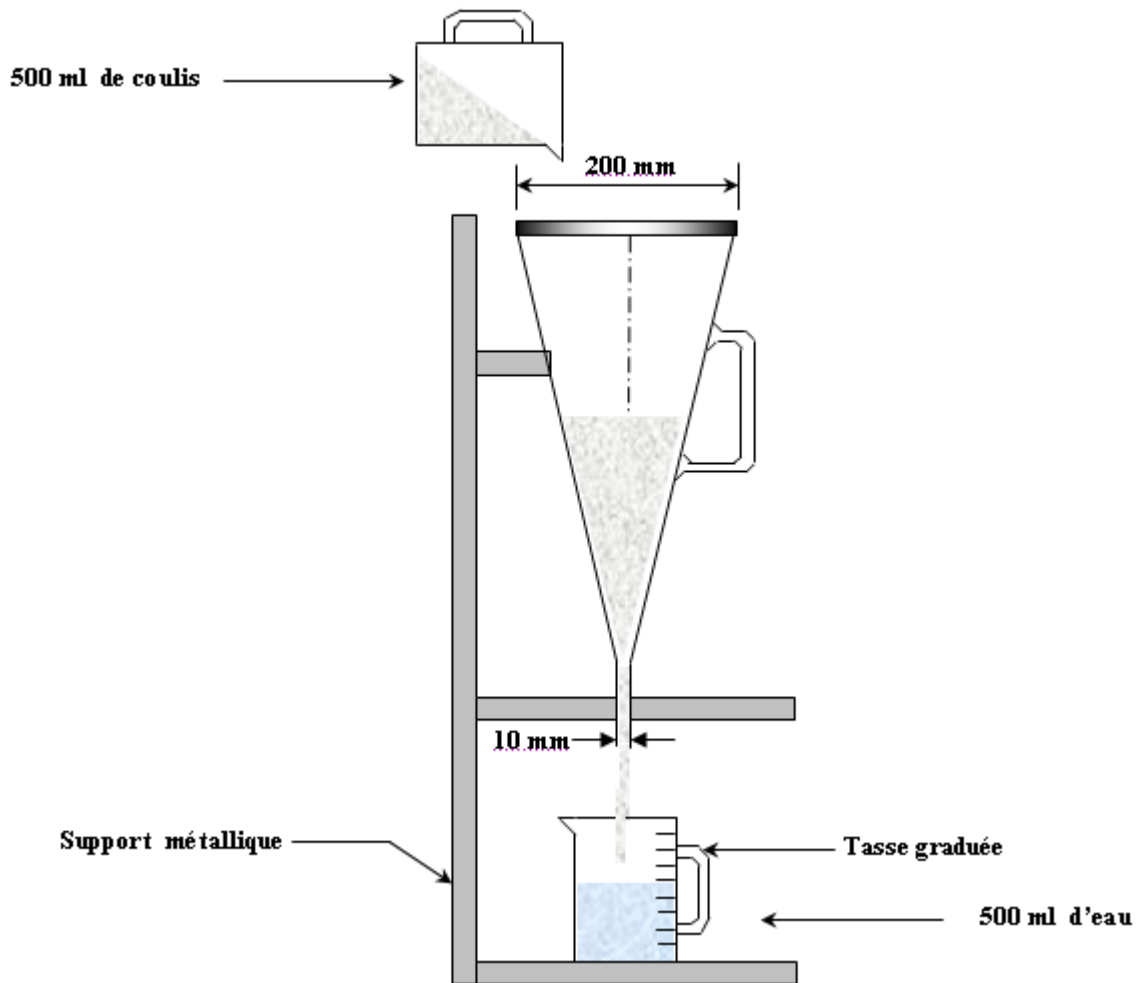


Figure 3-4 : Dispositif de l'essai de lessivage

### 3.2.5. Ressuage forcé

Le filtre-presse de type Baroïd est généralement utilisé. Il s'agit de mettre 200 ml de coulis de ciment sous une pression de 0,55 MPa (figure 3-5). Le volume d'eau séparé du volume total de coulis est enregistré à des intervalles donnés de temps. Il est évident que moins d'eau infiltrée, plus le coulis est stable.



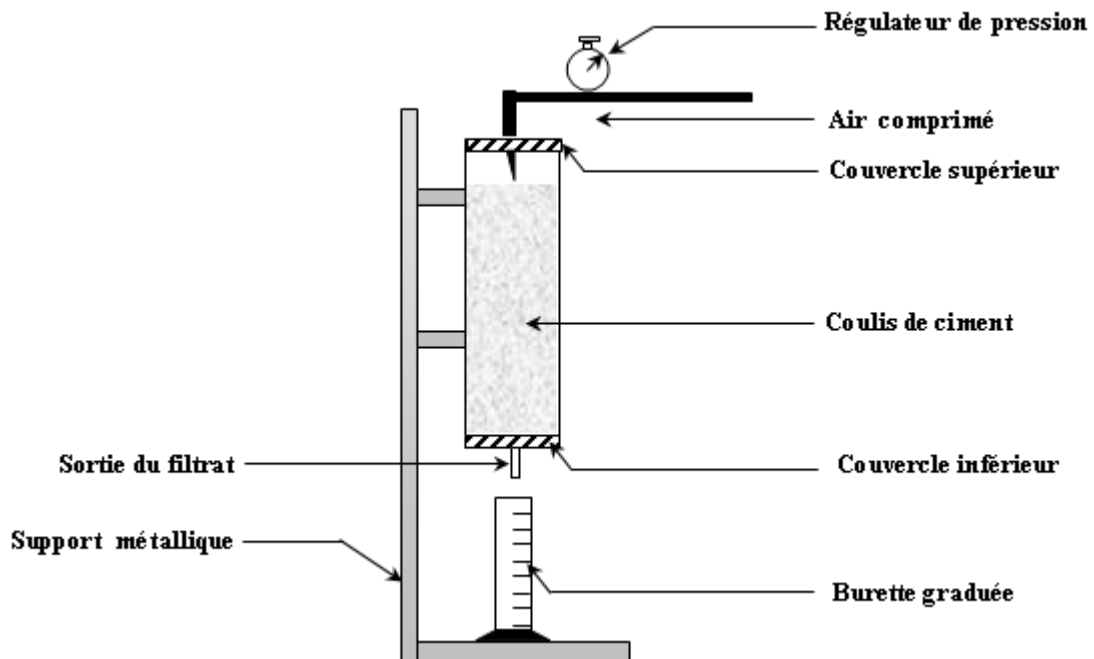


Figure 3-5 : Appareil utilisé pour mesurer le ressuage forcé

### 3.2.6. Comparaison des essais

Afin d'évaluer l'erreur relative des essais qui sont utilisés pour la caractérisation des coulis au laboratoire, quatre coulis (A, B, C et D) ont été préparés par Khayat et Yahia [100]. Ces coulis couvrent une plage de fluidité qui varie de faible à élevée. Les mesures statistiques ont été évaluées pour les essais du mini slump, temps d'écoulement, la viscosité apparente à des taux de cisaillement faibles et élevés ainsi que pour l'essai de lessivage. Il est important de noter que l'erreur associée à 95% de confiance est évaluée en assumant une distribution normale des mesures effectuées. La valeur de l'erreur est obtenue à l'aide de la formule suivante :  $e = \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}$  ( $\sigma$  étant l'écart type et  $n$  le nombre d'essais). Le tableau 3-1 présente les résultats obtenus pour les différents essais utilisés.

**Tableau 3-1 : Caractéristiques statistiques des essais de caractérisation [102]**

	Mini slump		temps d'écoulement		$\mu_3$	$\mu_{200}$	$\mu_{300}$	Lessivage	
	A	B	C	D	B	B	B	C	D
Coulis									
Nombre d'essais	8	8	5	4	5	5	5	5	5
Moyenne	131.4 mm	163.6 mm	34 s	118 s	0.10 Pa.s	0.043 Pa.s	0.029 Pa.s	11.10 %	8.20 %
Écart type	2.90 mm	2.10 mm	0.22 s	3.54 s	0 Pa.s	0.0026 Pa.s	0.0017 Pa.s	0.53 %	1.20 %
Coefficient de variation $C_v = \frac{\sigma}{p}$	2.2 %	2.10 %	0.22 %	3.54 %	0 %	6.2 %	6.2 %	4.8 %	14.6 %
$\pm$ Erreur (95% de confiance) $e = \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}$	2 mm	1.9 mm	0.2 s	3.5 s	0 Pa.s	0.0023 Pa.s	0.0015 Pa.s	0.5 %	1.05 %
Erreur Relative $e(\text{relative}) = \frac{e}{p}$	1.5 %	1.2 %	0.6 %	3.0 %	0 %	5.3 %	5.2 %	4.5 %	12.8 %

(Erreur/valeur moyenne)  $\times 100$ , temps d'écoulement à 700 ml,  $\mu_3$ ,  $\mu_{200}$  et  $\mu_{300}$  : viscosité apparente mesurée respectivement à 3, 200 et 300 rpm. (tr/min)

L'examen des résultats révèle que dans le cas des coulis fluides (Coulis B) le diamètre d'étalement est mesuré généralement avec un coefficient de variation plus faible que celui obtenu dans le cas de coulis plus visqueux (Coulis A). De plus pour un intervalle de confiance de 95%, une erreur relative de 1.2% est obtenue quand on mesure le mini slump de coulis fluide (Coulis B). Par contre, cette valeur est de l'ordre de 1.5% dans le cas de coulis plus visqueux (Coulis A). L'erreur relative obtenue pour le temps d'écoulement obtenu à 700 ml pour les coulis fluides (Coulis C) et visqueux (Coulis D) est respectivement de 0,6 et 3,0%. L'erreur relative commise durant la mesure du temps d'écoulement pour les coulis fluides est beaucoup moins élevé que celle obtenue avec des coulis visqueux. De même l'erreur de mesure du lessivage est plus importante lors d'un coulis visqueux que pour un coulis fluide. On peut conclure que les résultats des propriétés rhéologiques sont plus dispersés lorsque la pâte est visqueuse et que les valeurs seront plus reproductibles pour des coulis fluides.

### 3.3. Essai sur béton et mortier

Après la malaxage, le béton frais doit rapidement être mis en oeuvre sur le chantier pour diverses opérations : vidange dans les coffrages, serrage (par vibration, piquage) et talochage. La manière dont le matériau se comporte est gouvernée par son ouvrabilité. Cette ouvrabilité est également désignée sous les termes de maniabilité ou consistance du mélange. Faury [101] souligne que l'ouvrabilité est un ensemble de qualités pratiques que doit posséder le béton frais pour être transporté aisément et sans risque de malfaçons. Ces propriétés doivent donc être classées en deux groupes distincts suivant qu'elles s'appliquent au transport ou à la mise en oeuvre du mélange.

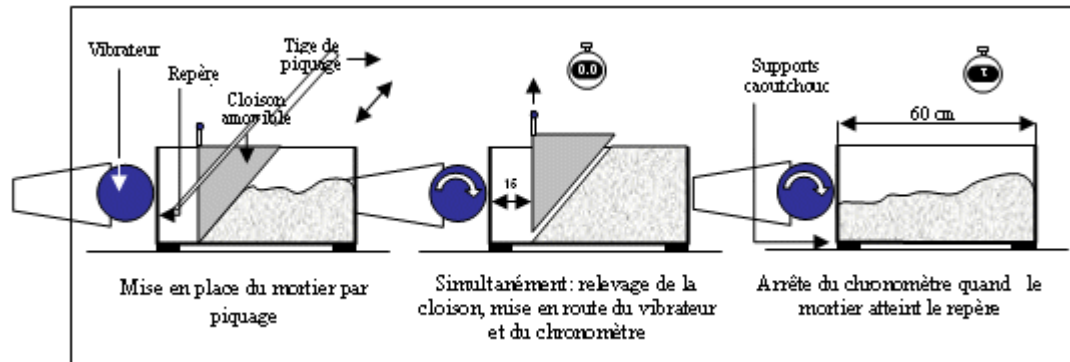
Dans la pratique, il existe plusieurs processus de mise en oeuvre (pompage, vibration, projection, compactage...). C'est pourquoi de nombreux tests technologiques ont été proposés pour s'adapter à cette diversité. Ces essais permettent de mesurer empiriquement certaines caractéristiques dépendant de l'ouvrabilité. Nous pouvons citer quelques appareils recensés dans la littérature: le cône d'Abrams, la table à secousses [102] et le maniabilimètre LCPC [103]

#### 3.3.1. Maniabilimètre

La mesure de la maniabilité est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance. Le maniabilimètre représenté sur la figure 3-6, se caractérise par un boîtier parallélépipédique métallique ( 60 cm x 30 cm x 30cm ), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible. Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier.

Le mortier ou béton est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 4 couches. 4 minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirées, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de

l'appareil). La norme NF P 18 - 452 [104] spécifie quatre classes de consistance en fonction de la durée (tableau 3-2).



**Figure 3-6 :** Maniabilimètre

**Tableau 3-2 :** Classes de consistance vis-à-vis de la durée

classe de consistance	durée (en s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très Plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

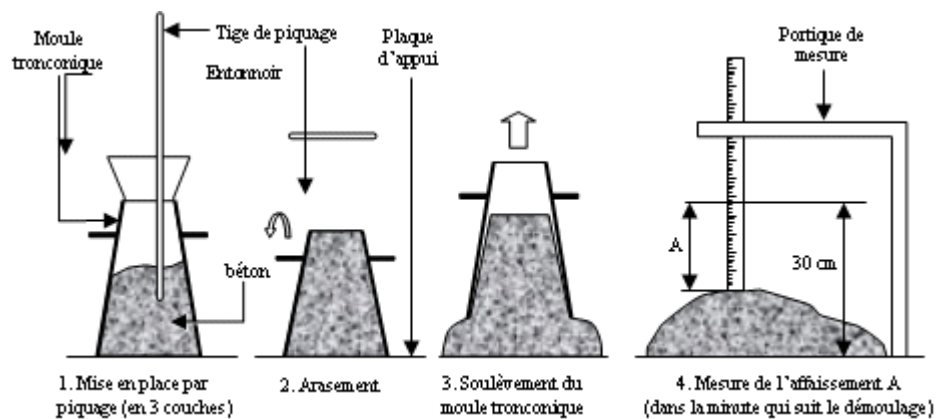
### 3.3.2. Affaissement au cône d'Abrams

L'affaissement au cône d'Abrams est incontestablement un des essais les plus simples et les plus fréquemment utilisés (figure 3-7). Pour effectuer cet essai, on remplit tout d'abord un moule en tôle tronconique ( $D = 20$  cm,  $d = 10$  cm,  $h = 30$  cm) de béton. Le remplissage est exécuté en trois couches serrées avec une tige d'acier de 16 mm de diamètre dont l'extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche. On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement. Plus l'affaissement est élevé, plus le béton est fluide. Les normes EN 206-1 [105], NFP 18-305 [106] spécifient les classes de consistance en fonction de l'affaissement (tableau 3.3).

L'affaissement est aussi un bon indicateur pour classer le béton selon sa finalité. Larrard [109] présente une gamme d'affaissement pour les bétons dans le tableau 3-4.

**Tableau 3-3 : Classes de consistance vis-à-vis de l'affaissement**

EN 206-1		N FP 18-305	
Consistance	Affaissement (mm)	Consistance	Affaissement (cm)
S1	10 à 40	<b>Ferme</b>	0 à 4
S2	50 à 90	<b>Plastique</b>	5 à 9
S3	100 à 150	<b>Très Plastique</b>	10 à 15
S4	160 à 210	<b>Fluide</b>	≥ 16
S5	≥ 220		



**Figure 3-7 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams**

**Tableau 3-4 : Plage d'affaissement à spécifier pour différentes applications [107]**

Application	Affaissement désiré (mm)
Préfabrication industrielle – Bétons secs pour démoulage immédiat	0
Béton pour chaussées mis en place à la machine à coffrage glissant	20/50
Béton de résistance normale pour structures armées ou précontraintes	80/150
Béton à haute performance coulé sur chantier	180/250
Béton autoplaçant	>250 (étalement 600) >

### 3.3.3. Table à secousses

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils dont le plus connu est la table à secousses (figure 3-8). Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, et placé sur une table métallique constituée de deux plaques articulées par une charnière. On soulève la plaque supérieure de 4 cm et on laisse retomber, ceci 15 fois de suite. La masse de béton s'étale en une galette dont le diamètre moyen (A), l'étalement en % est donné par la formule suivante :

$$E_{\%} = \frac{A - 20}{20} 100$$

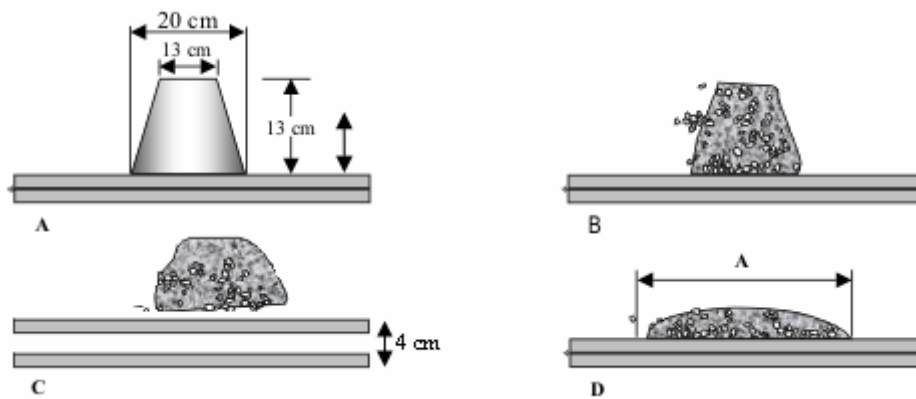
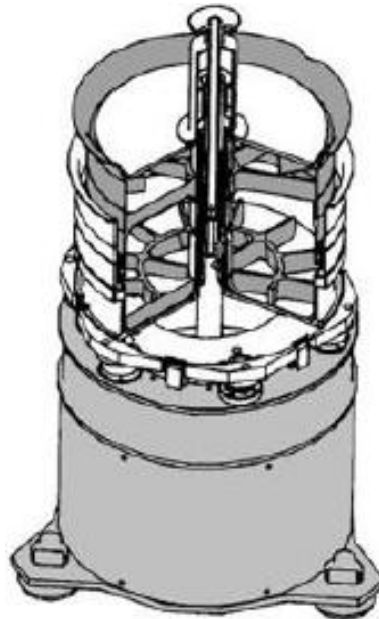


Figure 3-8 : Appareil utilisé pour mesurer l'étalement

### 3.3.4. Rhéomètre

Le rhéomètre, a été développé au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), de France par Larrard et al. [108]. Ce rhéomètre comprend plusieurs parties illustré sur la figure 3-9. Un bloc supérieur compose d'un récipient pour contenir l'échantillon de béton et d'une pièce tournante pour mettre ce dernier en cisaillement. Le bon fonctionnement de l'ensemble est assuré par un système de pales de blocage et de joints de feutres. Un bloc inférieur forme le corps de l'appareil, il contient les moteurs à courant continu, le système mécanique et les dispositifs métrologiques. En plus, il est équipé d'une boîte d'alimentation, un micro-ordinateur avec lequel on réalise le pilotage des essais et l'acquisition des mesures.



**Figure 3-9 : Rhéomètre**

### 3.3.5. Comparaison entre essais

Pour mesurer l'ouvrabilité du béton, certains tests empiriques sont parfois contradictoires. Dans une campagne expérimentale, Baron [102], a présenté une série de bétons formulés en faisant varier le dosage en eau et le rapport Sable/Gravillon, et a effectué des mesures d'ouvrabilité à la fois avec le cône d'Abrams et le maniabilimètre LCPC. Il a constaté qu'un béton X pouvait s'affaisser plus qu'un béton Y au cône d'Abrams mais s'écouler moins vite au maniabilimètre. Plusieurs chercheurs ont essayé de comparer les différents paramètres mesurés par différents essais tels que les résultats présentés sur les figures 3-10 et 3-11.

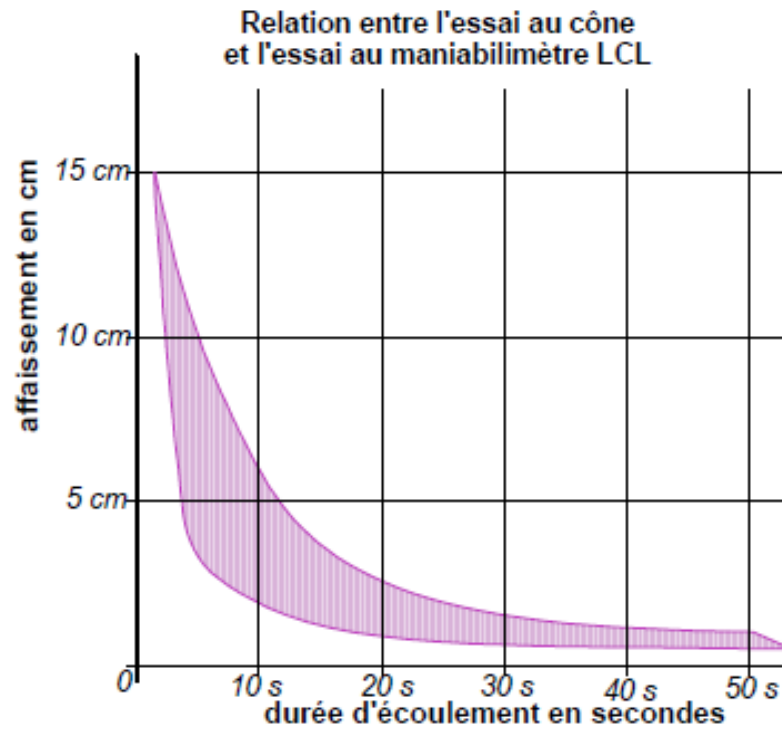


Figure 3-10 : Relation entre les essais d'affaissement et de maniabilité [92]

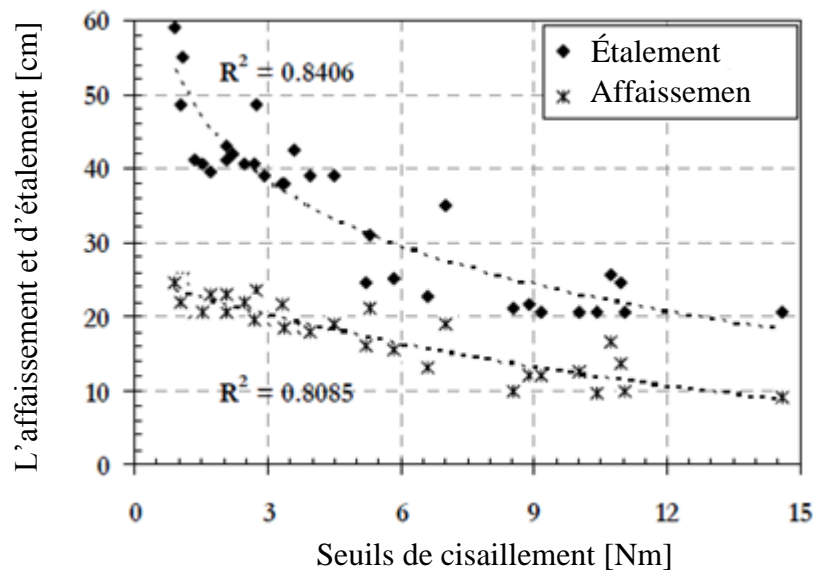


Figure 3-11 : Relation entre les essais d'affaissement et d'étalement avec la viscosité [93]

### 3.4. Conclusion

Ce chapitre a illustré les différents essais employés pour mesurer les propriétés rhéologiques d'un béton maniable. Pour le présent travail, on utilise le cône de Marsh pour évaluer la fluidité du coulis sous différentes conditions de formulation et de mise en œuvre.



# *Chapitre IV*

## *Matériaux et Méthodes d'essais*

## 4.1. Introduction

Les coulis cimentaires utilisés pour l'injection doivent posséder une fluidité suffisante pour réussir leur mise en place dans les gaines de précontrainte, les fissures et les porosités des ouvrages endommagés. Le cône de Marsh est un outil très efficace pour caractériser globalement cette fluidité et vérifier la constance des formulations en laboratoire et sur site.

L'objectif principal de cette première partie est d'étudier l'effet des adjuvants chimiques (SP) sur la rhéologie et la stabilité des coulis de ciment. Les coulis préparés ont généralement une température de 20°C. Les propriétés reportées dans cette partie sont généralement évaluées à 5 et à 60 minutes après le premier contact du ciment avec de l'eau.

Dans le présent chapitre, on présente une description détaillée des matériaux et du matériel utilisés en donnant un aperçu sur les techniques expérimentales ainsi que la préparation des mélanges et les variables à étudier. L'étude expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire des Matériaux de Construction du département de Génie Civil de l'Université Hassiba Benbouali de Chlef sous des conditions climatiques ambiantes.

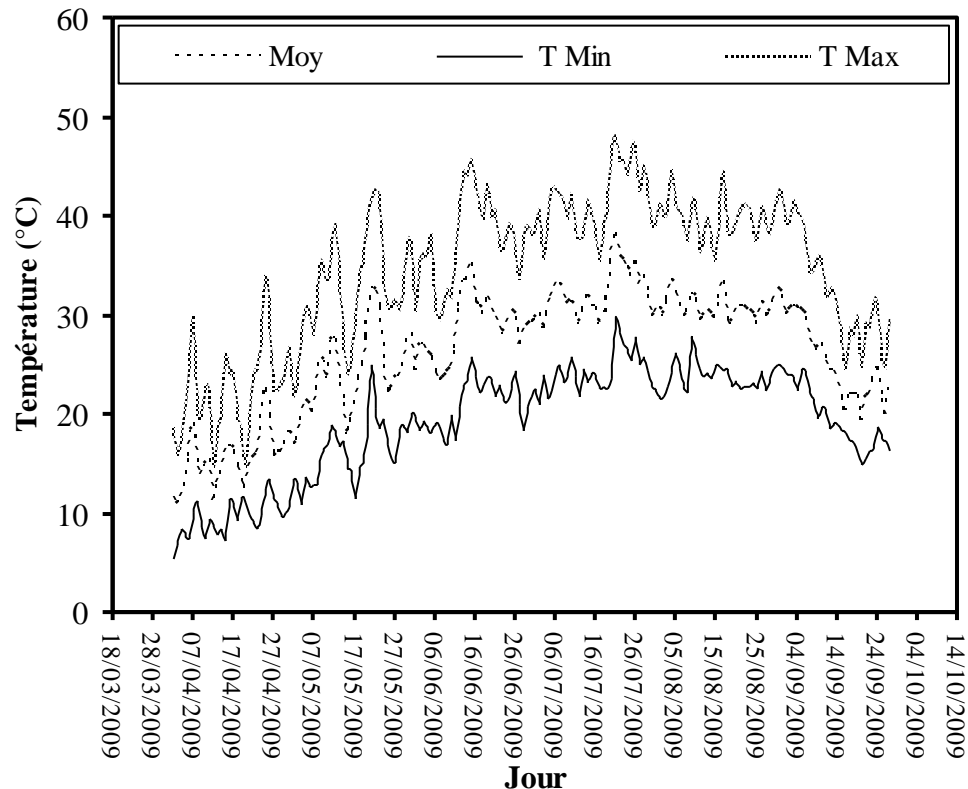
## 4.2. Condition climatique des essais

Le climat est un ensemble des conditions atmosphériques caractérisé par les états et les évolutions de plusieurs facteurs physiques (température, pression, humidité relative, vitesse du vent etc...) d'un domaine spatial déterminé. La quantification du comportement des coulis, des mortiers et des bétons à l'état frais ainsi qu'à l'état durci est toujours influencée par les conditions climatiques régnant dans la région.

Le climat du nord de l'Algérie est essentiellement méditerranéen, la combinaison des traits méditerranéens avec les caractéristiques continentales se développe d'avantage au fur et à mesure que l'on avance à l'intérieur des hautes terres comme le cas de la ville de Chlef. A Chlef, l'hiver y devient rugueux et l'été chaud et sec, les pluies insuffisantes et irrégulièrement réparties, sont absentes en été et assez fréquentes en hiver. Les essais de cette étude sont réalisés sous des conditions climatiques naturelles (température et humidité) durant l'année 2009 s'étalant entre les mois d'Avril et de Septembre.

### 4.2.1. Température

Tout comme les autres facteurs, la température a un rôle très important dans le phénomène de l'évaporation et de l'établissement du bilan hydrique, ainsi que dans la détermination des critères climatiques d'une région. La figure 4-1 présente la température moyenne, maximale et minimale journalière au niveau de la station pluviométrique de Chlef, durant la période des essais de l'année 2009.



**Figure 4-1 :** Variation journalière des températures durant la période d'essai

La figure 4-2 présente la température moyenne, maximale et minimale du jour (de 6.00H du matin au 18.00H) au niveau de la même station, durant l'année 2009 période (avril – septembre). Sur cette figure, il apparaît clairement l'effet climatique sur la qualité du ciment où il est impossible de trouver des températures inférieures à 20°C durant le jour pendant toute cette période. Ces conditions climatiques défavorables sont très fréquentes sur les chantiers et dont les promoteurs de la construction doivent tenir compte lors de la confection du béton ou lors de l'utilisation des adjuvants organiques. Sur la figure 4-3, on représente la variation de la température durant le jour le plus chaud de la période en occurrence 27/07/2009 et le plus froid ; 02/04/2009 avec un écart de température voisinant les 40°C.

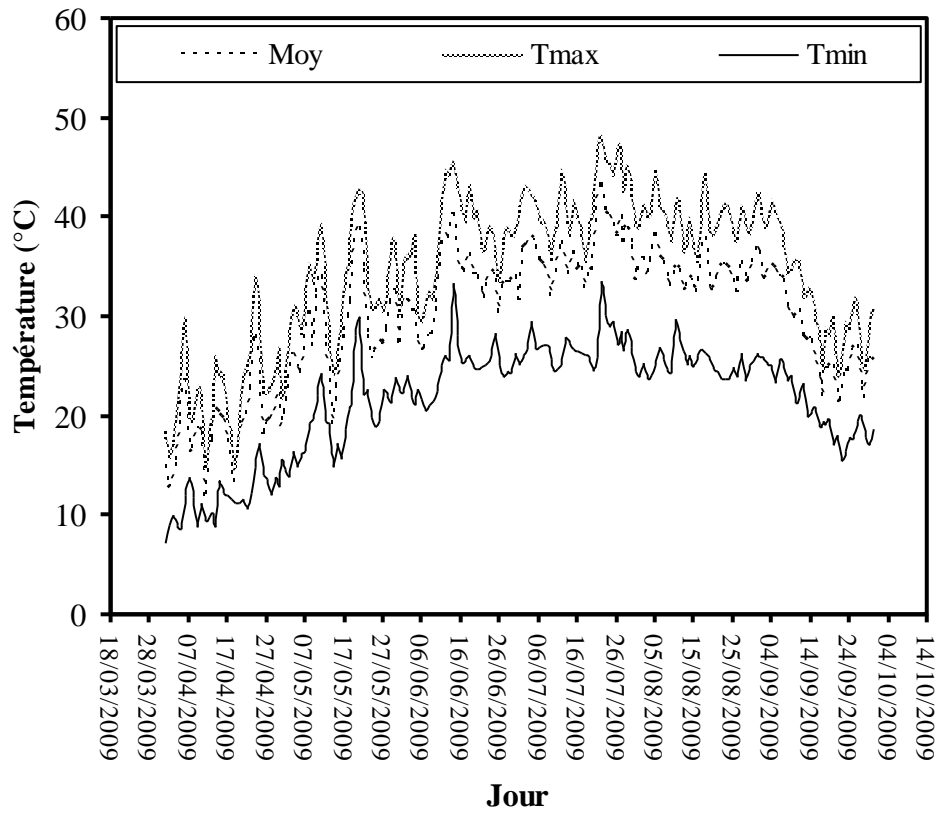


Figure 4-2 : Variation des températures durant les jours de la période d'essai

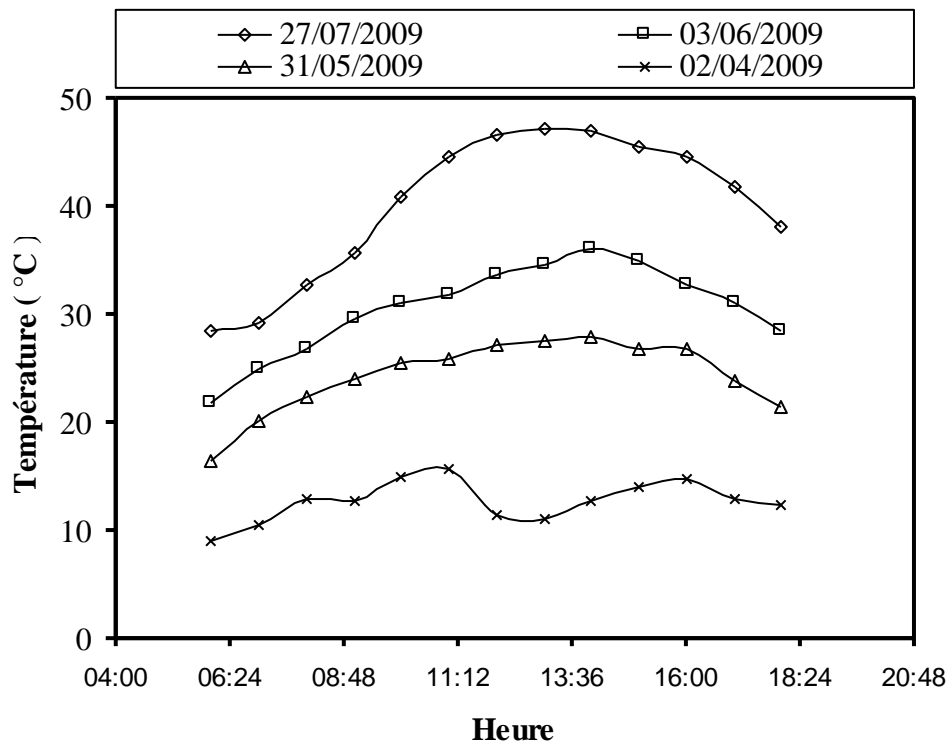
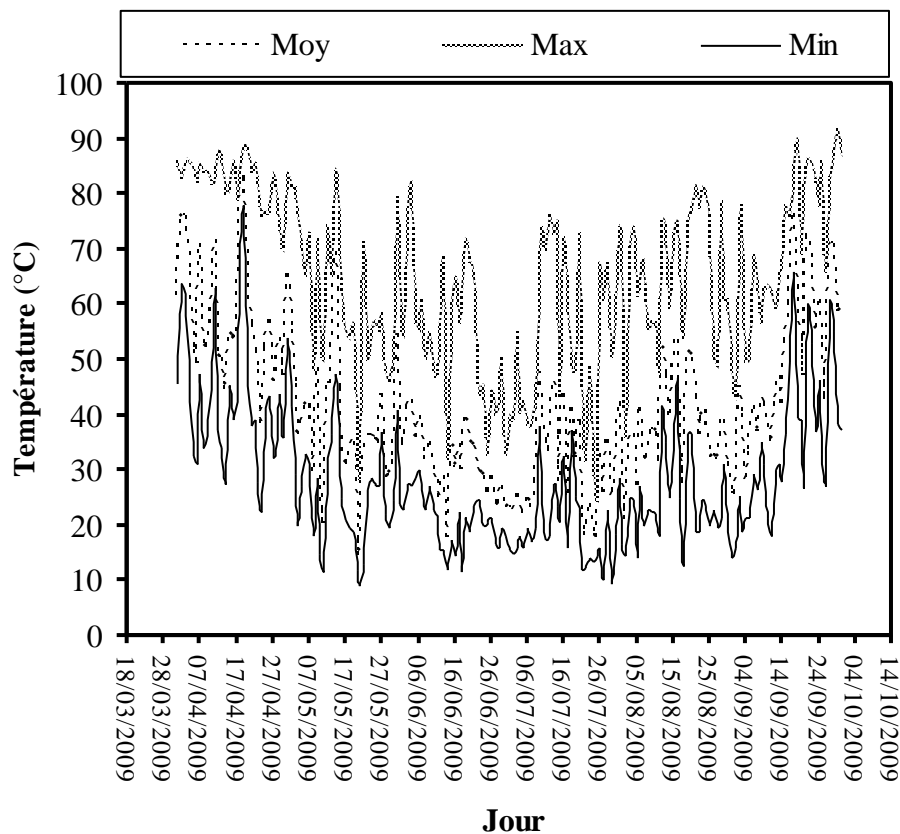


Figure 4-3 : Variation des températures durant les jours extrêmes de la période d'essai

### 4.2.2. Humidité relative

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air et la quantité que peut contenir ce même volume à l'état de saturation. Elle est représentée par l'humidité relative considérée comme l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique. Cette grandeur est souvent déterminante lors de la confection du béton où l'évaporation joue un rôle défavorable lors du durcissement du béton et dont la cure adéquate s'impose pour lutter contre l'effet néfaste causé par la baisse de l'hygrométrie.

La figure 4-4 présente L'humidité relative moyenne, maximale et minimale journalière (de 6.00H du matin au 18.00H) au niveau de la station Météo de Chlef, durant la période de l'essai.



**Figure 4-4 :** Variation journalière de l'humidité relative durant la période d'essai

### 4.3. Matériaux utilisés

#### 4.3.1. Ciment

Deux types de ciments commerciaux ont été employés pour cette recherche. Dans la majorité se sont des ciments composés CPJ produit localement. Un Ciment Portland Composé (CPJ 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 et minéralogiques sont présentées dans le tableau 4-1.

**Tableau 4-1 :** Composition chimique et minéralogiques du ciment des matériaux utilisés

Caractéristiques	(Ciment de Chlef) C1	(Ciment de Zahana) C2	Calcaire	Pouzzolane	Gypse	Laitier	
Composition chimique	SiO <sub>2</sub>	22.60	21.74	2.5	46.4	0.49	42.2
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.20	3.28	0.6	17.5	1.03	5.85
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.55	2.90	0.9	10.5	0.32	1.90
	CaO	62.17	63.70	52.6	10.5	35	20.42
	SO <sub>3</sub>	2.19	1.95		0.4		1.54
	MgO	0.63	1.41	0.5	3.8	1.19	4.72
	K <sub>2</sub> O	0.42	0.65	0.05	1.5		0.43
	Na <sub>2</sub> O			0.02	3.4		0.12
	chaux libre	0.32	1.50				
	insolubles	1.25	0.96				
	Perte au feu	1.84	0.98	41.9	4.31		
minéralogique	C <sub>3</sub> S	41.8	62.3				
	C <sub>2</sub> S	33.3	15.2				
	C <sub>3</sub> A	5.1	3.8				
	C <sub>4</sub> AF	10.7	8.8				
SSB cm <sup>2</sup> /g	3700	3300	3400	3200	3400	3200	

### 4.3.2. Superplastifiant

Pour la présente étude, 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 4-2 présente quelques caractéristiques de ces deux produits

**Tableau 4-2 :** 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
Masse molaire	1000-2000 g.mol <sup>-1</sup>	12000-15000 g.mol <sup>-1</sup>
Nature chimique	polycondensat de résines mélamines	polycondensat de naphthalène sulfoné

### 4.3.3. Eau de gâchage

Nous avons 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 [109]

## 4.4. Compositions des coulis de ciment

Une série de coulis est préparée en combinant les deux types de ciment avec les deux types de superplastifiants pour donner quatre couples à étudier. Ces combinaisons représentent les quatre mélanges contenant C1-SP1, C1-SP2, C2-SP1 et enfin C2-SP2 et qui représentent des teneurs en superplastifiant SP varient de 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5 et 2% du poids de ciment. Ces mélanges sont confectionnés pour trois rapports E/C de 0.35, 0.4 et 0.45. La température adoptée pour cette étude est de 20C°. En supposition, les mesures rhéologiques sont effectuées avant tout dégagement de chaleur due à l'hydratation des différentes phases du ciment. Le tableau 4-3 donne les compositions des différents coulis sur lesquels des mesures des temps d'écoulement ont été effectuées.

**Tableau 4-3** : Compositions des coulis de ciment à une température ambiante (20°C)

Ciment	E/C	Médaplast SP1 %	Médafluid SP2 %
CHLEF C1	0.35%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0
	0.40%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0
	0.45%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0
ZAHANA C2	0.35%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0
	0.40%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0
	0.45%	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2,0

## 4.5. Matériels utilisés

En apparence, il est facile de réaliser un coulis de ciment, puisque c'est essentiellement un mélange de ciment et d'eau. Cette apparence simplicité des coulis cache en fait la mise en jeu de phénomènes physico-chimiques forts complexes que l'on maîtrise plus au moins bien. La mesure de ces phénomènes peut être faite par plusieurs dispositifs où la rhéologie constitue l'élément majeur de ces propriétés.

### 4.5.1. Malaxeur

Les propriétés rhéologiques varient énormément selon le mode de malaxage et le dosage des constituants employés. Avant tout travail, le mode de malaxage doit être désigné selon les moyens disponibles et la quantité de coulis à préparer. Parmi les appareils utilisés à l'université de Chlef pour le malaxage des coulis de ciment le malaxeur de type Hobart, représenté sur la figure 4-5, avec une capacité de 5 litres. Cet appareil normalisé (EN 196-1) [110], sur lequel se basent pratiquement toutes les normes pour la préparation du coulis, est caractérisé par trois vitesses de rotation selon le coulis désiré.

**Figure 4-5:** Malaxeur de type Hobart



### 4.5.2. Cône de Marsh

Le cône de Marsh (figure 4-6) est utilisé depuis longtemps par l'industrie pétrolière pour mesurer la fluidité des coulis de ciment ou de bentonite. Le cône de Marsh 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 5mm 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.



**Figure 4-6:** Cône de Marsh

### 4.5.3. Thermomètre

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 autour de 20°C (figure 4-7).



**Figure 4-7:** Thermomètre

#### 4.6. Procédure expérimentale

La procédure de malaxage et le mode d'introduction de l'adjuvant utilisé pour fabriquer les coulis sont illustrés dans le tableau 4-4. L'adjuvant est ajouté au début du malaxage avec la dernière tranche de l'eau de gâchage qui correspond généralement au début de la période dormante. Les étapes de l'essai sont les suivantes:

- Mettre dans le bol du malaxeur 1650 g de ciment
- Introduire la 2/3 de l'eau de gâchage et malaxer pendant 1 min à vitesse lente.
- Introduire le 1/3 de l'eau de gâchage plus les superplastifiants progressivement en malaxant pendant 1 minute
- Malaxer pendant 1 minute à grande vitesse.
- Préparer le coulis à l'essai d'écoulement au cône de Marsh.

**Tableau 4-4 : 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 Marsh à t = 5min
Durée	<div style="display: flex; align-items: center; border-bottom: 1px solid black;"> <span style="margin-right: 20px;">0</span> <span style="margin-right: 20px;">60s</span> <span style="margin-right: 20px;">120s</span> <span style="margin-right: 20px;">180s</span> <span style="margin-right: 20px;">5min</span> <span style="font-size: 20px;">→</span> </div>					
Malaxeur	Vitesse lente		Vitesse Lente	Vitesse Rapide		

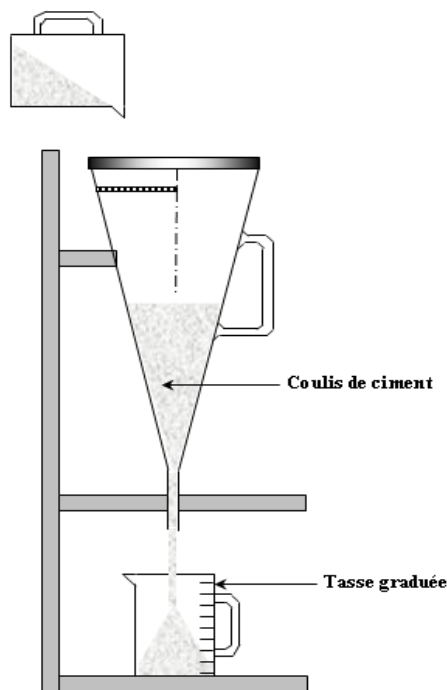
#### 4.7. Mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh

Le principe est de mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de coulis à travers un ajutage. Plus le temps est court, plus le coulis est fluide. Cette mesure au cône de Marsh peut être aussi utilisée pour déterminer le dosage de saturation en superplastifiant qui est le dosage à partir duquel le temps d'écoulement ne diminue pas appréciablement. Après la préparation du coulis, sa fluidité au cône de Marsh est évaluée en suivant les étapes ci-dessous comme c'est illustré sur la figure 4-8.

- Fixer le cône dans une structure en bois
- Fermer l'ajutage ou (l'orifice) du cône de Marsh à l'aide du doigt
- Prélever le coulis dans le bol et verser sur le tamis de cône jusqu'à ce que le niveau de coulis affleure 1 litre dans le cône.

- Déclancher le chronomètre au moment où l'on enlève le doigt qui bouche l'orifice et laisser couler dans le tasse gradué.
- Stopper le chronomètre lorsque le niveau de coulis atteint 1 litre

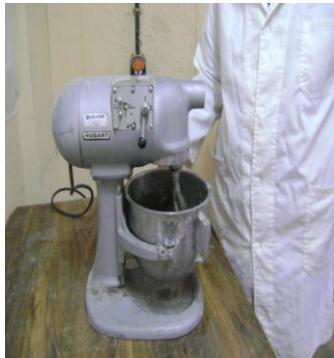
On fait une première mesure de l'écoulement à 5 minutes après le premier contact eau ciment. On place ensuite le coulis dans un récipient qui sera recouvert d'un film plastique pour éviter toute évaporation d'eau. On effectue une deuxième mesure de l'écoulement à 60 minutes après le début de l'essai, et en prenant le soin de remalaxer le coulis une minutes environs avant cette mesure.



**Figure 4-8:** Mode opératoire pour la mesure de fluidité du coulis

#### 4.8. Déroulement de l'essai

La mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh s'effectue selon les démarches décrites dans les illustrations suivantes :



a) Préparation du coulis



b) Fermeture de l'ajutage



c) Remplissage du cône



d) Ecoulement du coulis



e) Mesure du temps d'écoulement à 5 minutes



f) Mesure de la température du coulis à 5 minutes



g) Couverture des récipients par un film plastique pour éviter toute évaporation d'eau



h) Remalaxer le coulis après 60 minutes

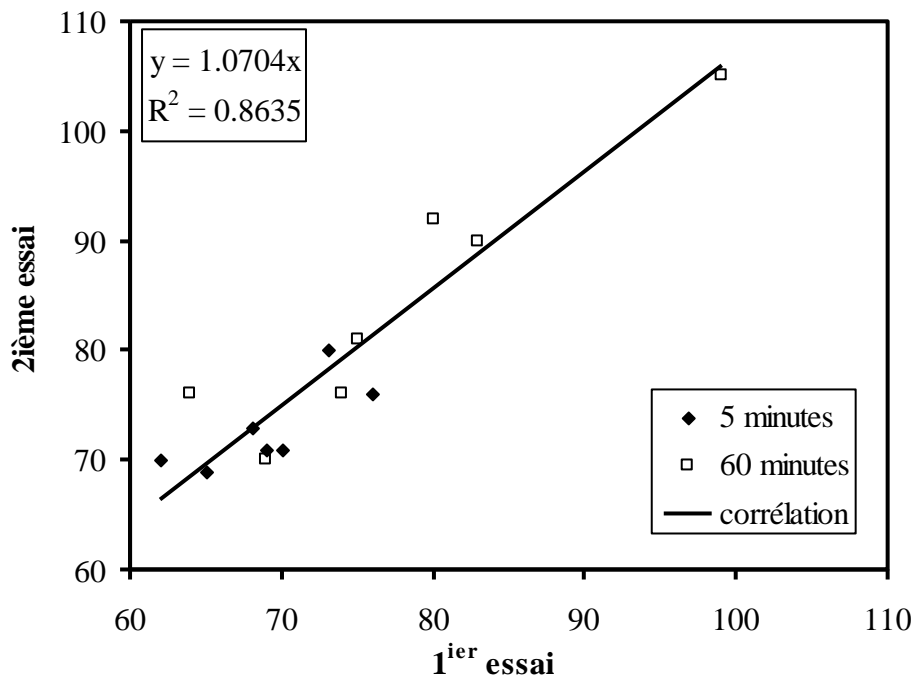


i) Mesure du temps d'écoulement à 60 minutes

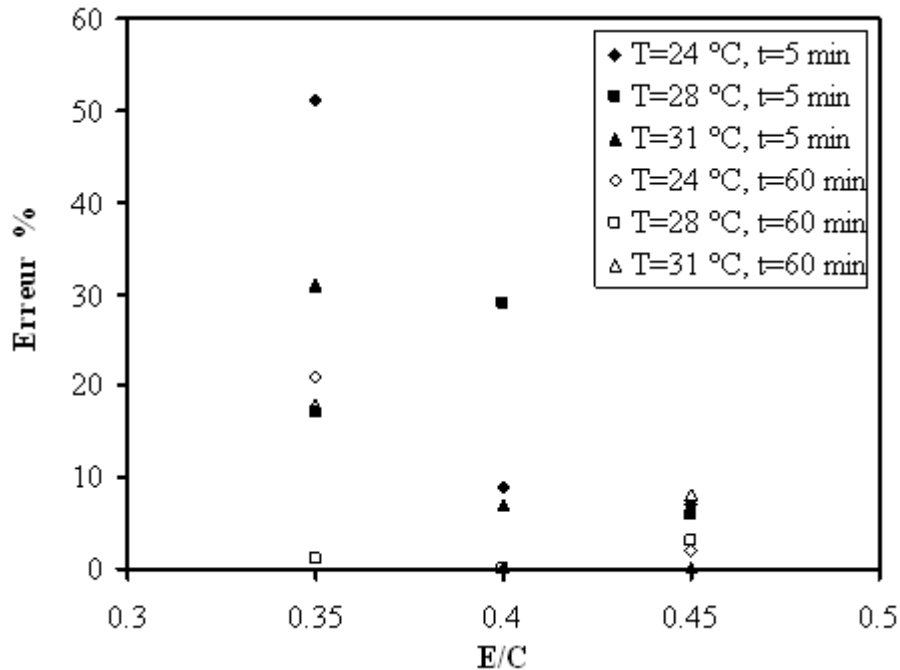
#### 4.9. Répétitivité des essais

Afin de bien mener cette étude, on a testé la répétitivité des résultats de fluidité au cône de Marsh. Pour cela on a refait un essai pour plusieurs dosages en superplastifiant à 5 et à 60 minutes. L'essai a été refait sur une période bien étalée pour inclure toutes les erreurs systématiques possibles. La figure 4-9 illustre les résultats trouvés et montre une bonne fiabilité de l'essai d'écoulement au cône de Marsh où la reproduction des mêmes résultats représente uniquement 7% d'erreur.

En effectuant des essais d'écoulement au cône de Marsh sous plusieurs températures, on aperçoit une variation des résultats qui décroît avec l'augmentation du rapport E/C comme c'est représenté sur la figure 4-10. Par contre, l'augmentation de la température du coulis donne plus de dispersion de résultats de fluidité à 5 minutes qu'à 60 minutes où l'effet de l'hydratation des grains de ciments est plus marquant.



**Figure 4-9:** Répétitivité d'un essai d'écoulement



**Figure 4-10:** Répétitivité d'un essai d'écoulement en fonction de du rapport E/C.

#### 4.10. Essai de fluidité sous température élevée

Les conditions climatiques au moment du coulage du béton jouent un rôle important sur la qualité et la fluidité du mélange. Ainsi, on a jugé utile de tester les quatre combinaisons de ciment et de superplastifiants sous des températures supérieures à 20°C. Des essais au cône de Marsh ont été conduits durant la période estivale où les températures atteignent leurs valeurs extrêmes sur des mélanges comportant le dosage de saturation et pour différent rapport E/C. La fluidité est mesurée pour chaque composition plusieurs fois durant le jour et durant toute la période d'été afin de balayer toute la plage de température allant de 20 à 40°C. La température du coulis est mesurée par immersion de l'aiguille du thermomètre dans le coulis juste après le malaxage à 5 minutes. Pour les essais à 60 minutes on a essayé de garder la même température par un conditionnement climatique de la salle, les compositions des coulis testés sont représentées sur le tableau 4-5.

**Tableau 4-5 :** Composition des coulis pour essai sous des températures élevées

Ciment	Superplastifiant	SP/C (%)	E/C
Chlef (C1)	Medaplast (SP1)	1.2	0.35, 0.4, 0.45
	Medafluid (SP2)	1.2	0.35, 0.4, 0.45
Zahana (C2)	Medaplast (SP1)	1.2	0.35, 0.4, 0.45
	Medafluid (SP2)	1.2	0.35, 0.4, 0.45

### 4.11. Essai de fluidité avec additions supplémentaires

Afin de remédier à certains cas d'incompatibilité observés durant les essais, on a testé l'effet d'incorporer au ciment des additions minérales en petite quantité comme c'est illustré sur le tableau 5-6. Leur choix a été basé sur leur effet retardateur de prise et leur pouvoir fluidifiant bien connus dans ce domaine tels que le gypse, le calcaire et le laitier. Le gypse est une addition utilisée en cimenterie pour régulariser la prise et neutraliser l'effet de  $C_3A$  au très jeune âge. Le calcaire est le matériau de base de l'industrie du ciment dont son effet fluidifiant et sa neutralité chimique n'est plus contestée. La troisième addition est le laitier des hauts fourneaux reconnu par son hydraulicité latente et son effet bénéfique sur la fluidité.

**Tableau 4-6 :** Composition des coulis avec d'autres additions minérales

Ciment	Addition minérale (%)		Superplastifiant (SP2) (%)	E/C
Zahana (C2)	Gypse	1	1.2	0.4
		1.5	1.2	0.4
		2	1.2	0.4
	Calcaire	5	1.2	0.4
	Laitier	10	1.2	0.4

### 4.12. Conclusion

Les résultats de ces essais seront présentés dans les chapitres 5 et 6 où une discussion des résultats obtenus sera donnée afin de comprendre le comportement rhéologique de chaque superplastifiant et son interaction avec les deux types de ciment.

# *Chapitre V*

*Fluidité des coulis sous une température  
ambiante*



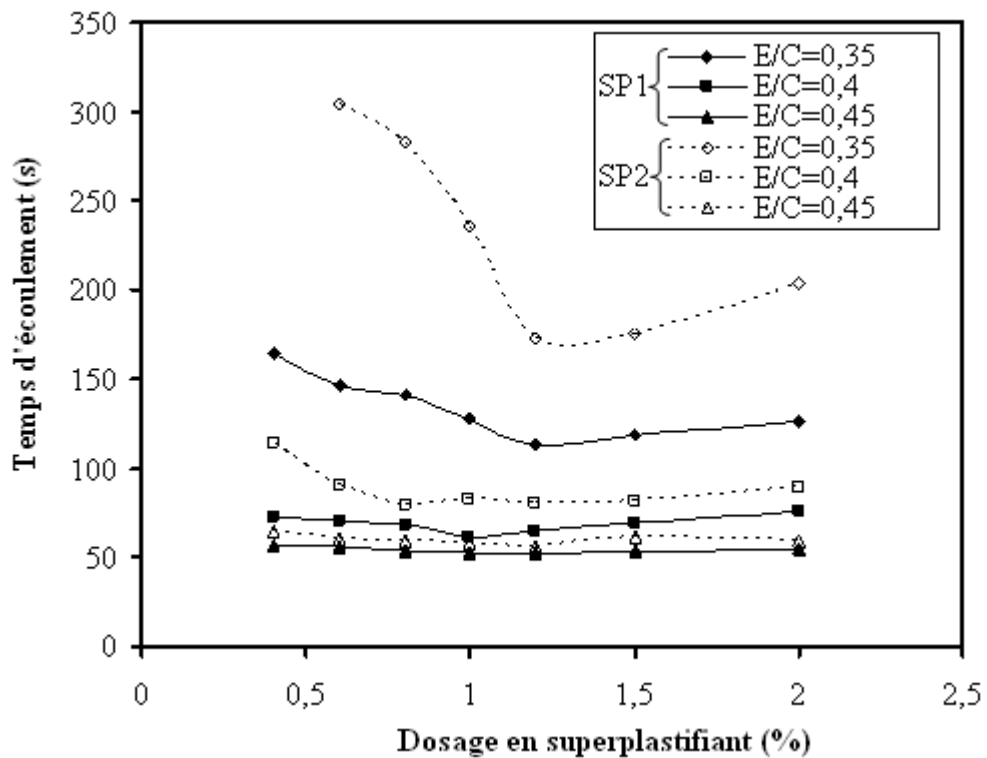
## 5.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'analyse et la discussion des résultats obtenus à partir des différents essais effectués dans le chapitre IV. Ils permettent de donner des interprétations sur la fluidité des coulis composé de deux types de ciment et deux types de superplastifiant à 5 et à 60 minutes. Ainsi que l'effet de différents paramètres tels que le dosage en superplastifiant et le rapport E/C.

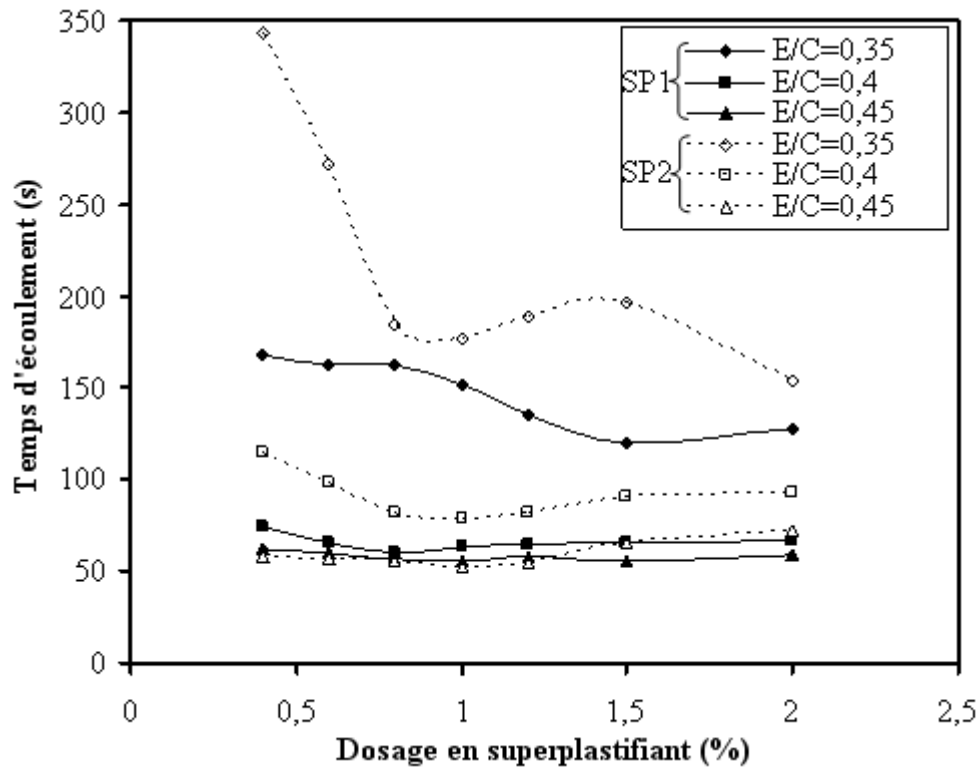
## 5.2. Fluidité à 5 minutes

### 5.2.1. Effet du dosage en SP

Les figures 5-1 et 5-2 présentent la variation du temps d'écoulement, à 5 minutes, d'un coulis à base de ciment C1 et C2 comportant deux types de superplastifiants avec différents dosages et différents rapport E/C. Comme on pouvait s'y attendre, la fluidité augmente avec le dosage en eau et en superplastifiant. En variant le dosage en superplastifiant, on s'aperçoit qu'à partir d'un certain point, que l'on nomme point de saturation, il n'y a plus d'amélioration de la fluidité. Ce point se situe entre 1 et 1.2% de dosage pour les différentes combinaisons de ciment et de superplastifiant.



**Figure 5-1 :** Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour le ciment C1 (Ciment Chlef) avec différents dosages de superplastifiants (SP1, SP2)



**Figure 5-2 :** Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour le ciment C2 (Ciment Zahana) avec différents dosages de superplastifiants (SP1, SP2)

### 5.2.2. Effet du type de SP

Les figures 5-3, 5-4, 5-5 présentent la variation du temps d'écoulement, à 5 minutes, des coulis à base de ciment C1 et C2 pour différents dosage de superplastifiant. Les résultats présentent les temps d'écoulement en utilisant les deux superplastifiants SP1 et le SP2 avec des rapports E/C de 0.35, 0.40 et 0.45. Pour des rapports E/C inférieurs à 0.40, on remarque que le type de SP a un effet très important sur la fluidité contrairement au type de ciment qui n'a qu'un effet marginal. De plus, la fluidité de SP1 est plus importante de celle de SP2 quelque soit le type de ciment utilisé. Pour des rapports E/C élevé, on remarque une inversion du comportement tel que la combinaison du SP2 avec le ciment C2 donne plus de fluidité que le SP1 avant de se dégrader pour des dosages supérieurs au dosage de saturation.

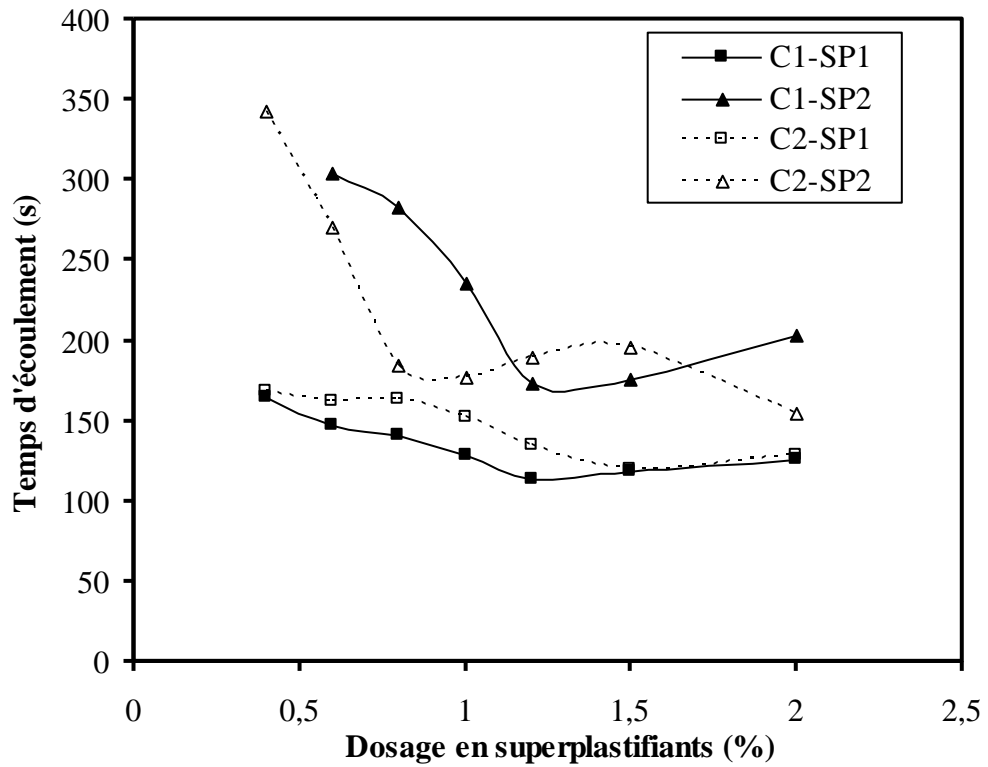


Figure 5-3 : Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport E/C=0.35.

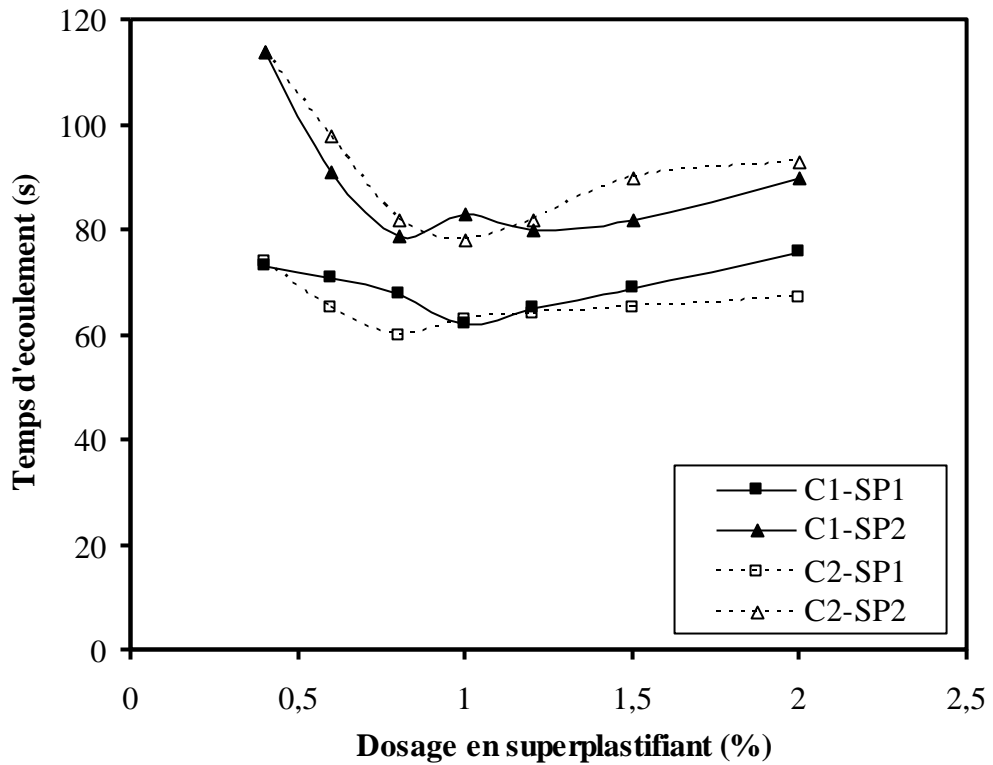
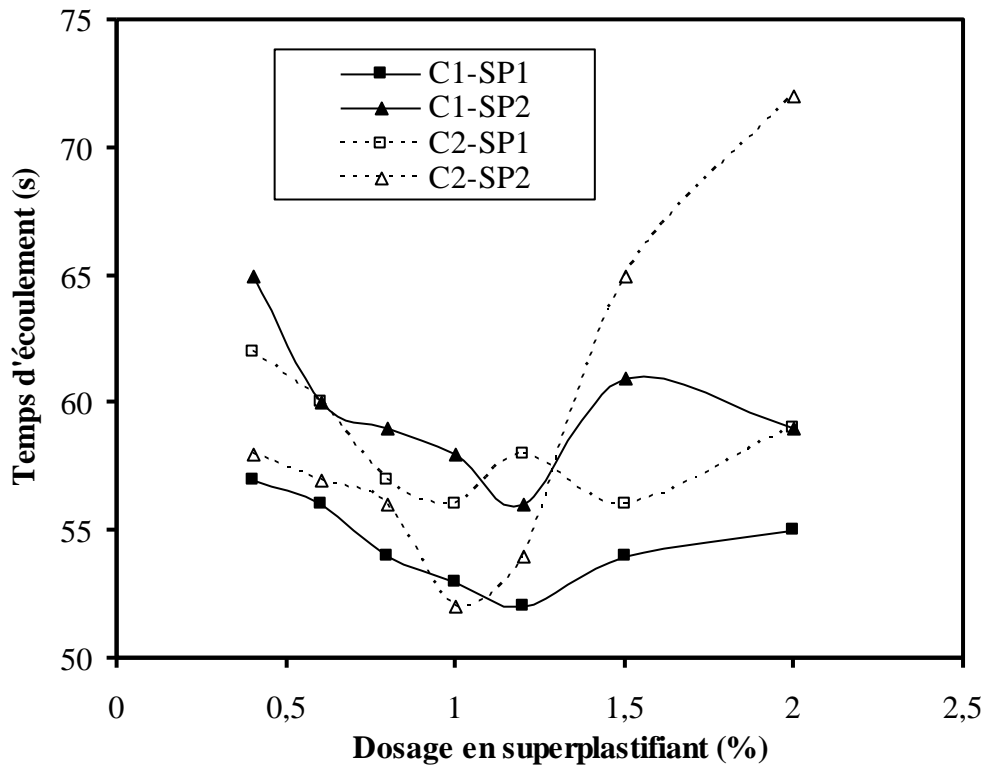


Figure 5-4 : Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport E/C=0.4.



**Figure 5-5 :** Variation de la fluidité à 5 minutes pour les deux types de ciments et les deux type de superplastifiants pour un rapport  $E/C=0.45$

### 5.2.3 Effet du type de Ciment

Les figures 5-6 et 5-7 montrent la variation du temps d'écoulement pour des coulis composés de deux types de ciments C1 et C2, confectionnés avec un rapport  $E/C$  égal 0.35, 0.4 et 0.45 et contenant différents dosages de superplastifiant SP1 et SP2. On peut remarquer que pour les deux ciments, la fluidité s'améliore avec le dosage en superplastifiant et l'augmentation du rapport  $E/C$ . Pour le superplastifiant SP1, la fluidité du ciment C1 est supérieure que celle de C2 surtout au voisinage du dosage de saturation. De plus, pour  $E/C$  faible égal à 0.35, on remarque que le ciment C1 est plus sensible au dosage de SP1 et se manifeste d'une grande fluidité, contrairement avec l'utilisation de faible dosage de SP2. Par contre, lorsqu'on augmente le rapport  $E/C$ , l'effet du type de ciment disparaît et les différents coulis donnent une fluidité presque identique indépendamment du dosage en superplastifiant.

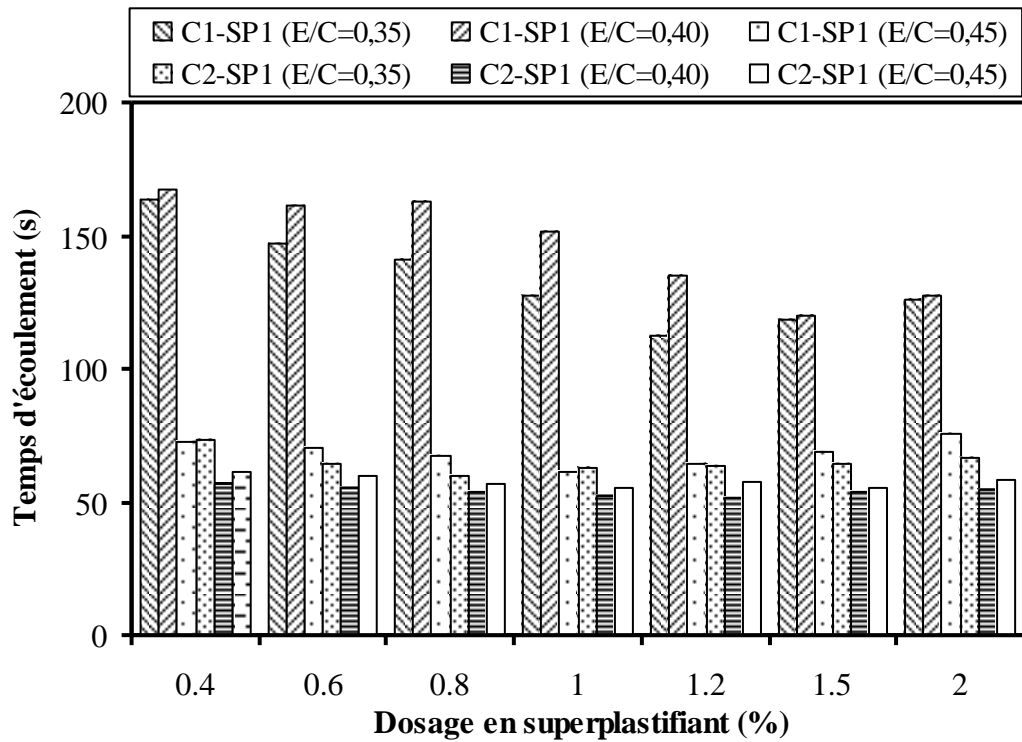


Figure 5-6 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour deux types de ciments composés (C1, C2) avec SP1

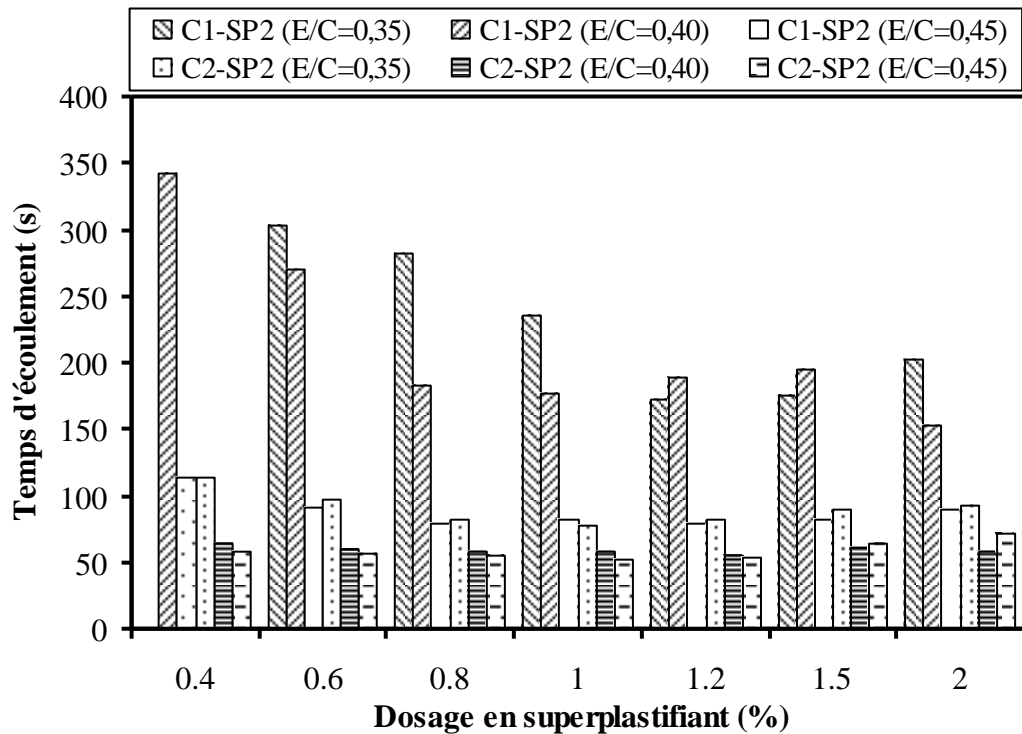
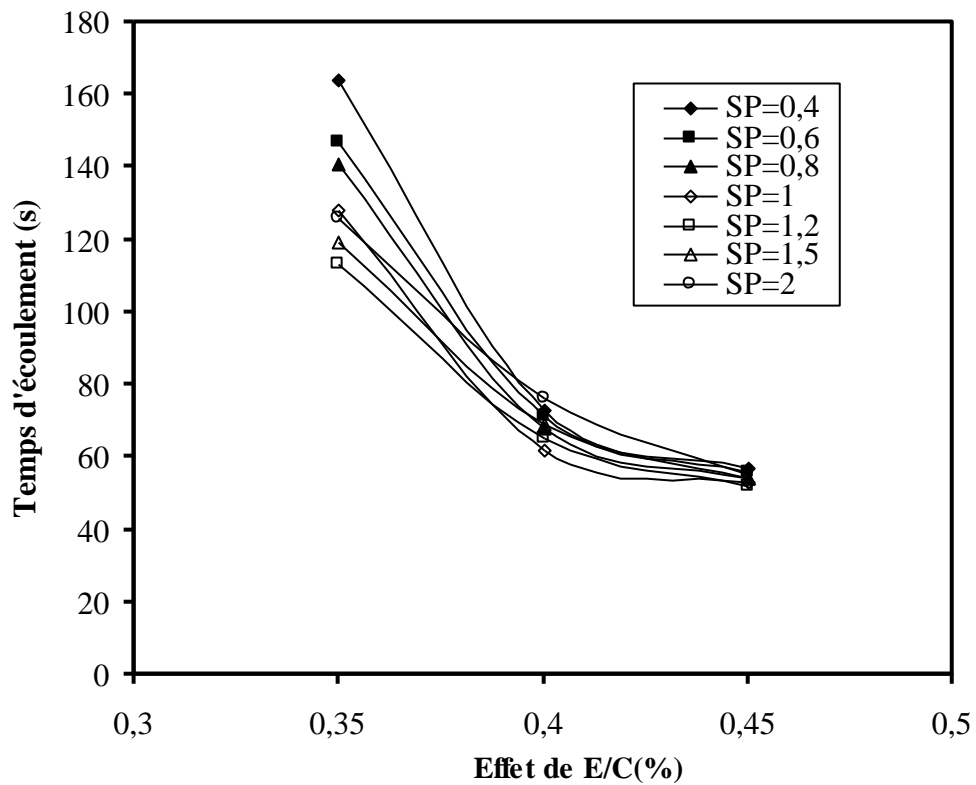


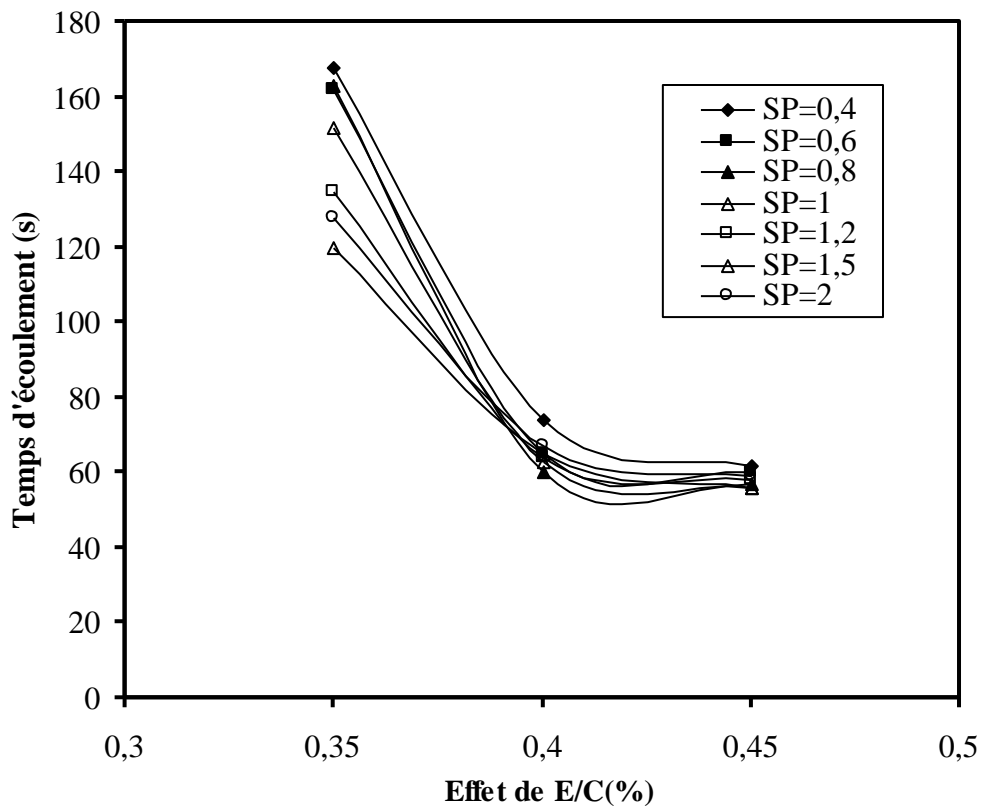
Figure 5-7 : Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour deux types de ciments composés (C1, C2) avec SP2

### 5.2.4. Effet de E/C

Les temps d'écoulements à 5 minutes sont représentés sur les figures 5-8 et 5-9 pour les différents types de ciments, dosages en superplastifiants SP1 et les rapports E/C. On remarque une nette amélioration de la fluidité avec l'augmentation du E/C. On outre, pour les valeurs E/C inférieures à 0.40, on remarque que la fluidité est plus sensible au dosage en eau par contre elle reste sensiblement identique pour les valeur supérieures à 0.40. En plus, les écarts des valeurs extrêmes de la fluidité sont de 51, 14 et 0.5 secondes pour le ciment de Zahana et de 48, 14 et 6 secondes pour le ciment de Chlef, respectivement pour E/C égal à 0.35, 0.40 et 0.45



**Figure 5-8 :** Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents rapport E/C pour le couple (C1, SP1)



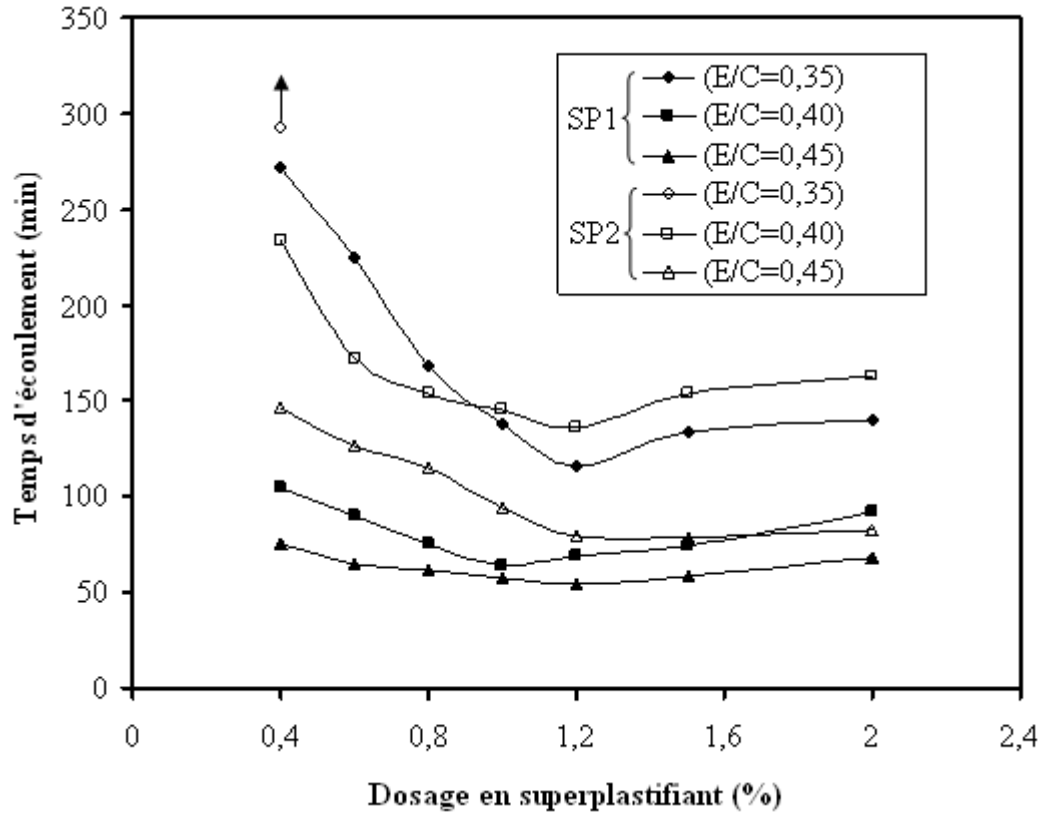
**Figure 5-8 :** Variation du temps d'écoulement à 5 minutes pour différents rapport E/C pour le couple (C2, SP1)

### 5.3. Fluidité à 60 min

#### 5.3.1. Fluidité du ciment C1

On présente dans la figure 5-10 les temps d'écoulement à 60 minutes pour les différents dosages en superplastifiant (SP1, SP2), type de Ciment C1 et les rapports E/C égal à 0.35 , 0.40 et 0.45. Pour le mélange C1-SP1, les résultats montrent que la fluidité à 60 minutes se dégrade très vite lorsque E/C est inférieur à 0.40 et reste stable pour des valeurs supérieures. En variant le E/C de 0.45 à 0.40, on perd 17 secondes de fluidité et 62 secondes lorsque on descend à E/C égal à 0.35 pour un dosage de 1.2% de superplastifiant.

Pour le mélange C1-SP2, on remarque que la fluidité se dégrade de 79 à 136 secondes en passant de E/C égal à 0.45 vers 0.40 et disparaît lorsque le E/C atteint à 0.35. De plus, pour un E/C égal à 0.45 on observe que la fluidité du couple C1-SP2 est indépendante du dosage de ce dernier et reste similaire à celle de SP1.

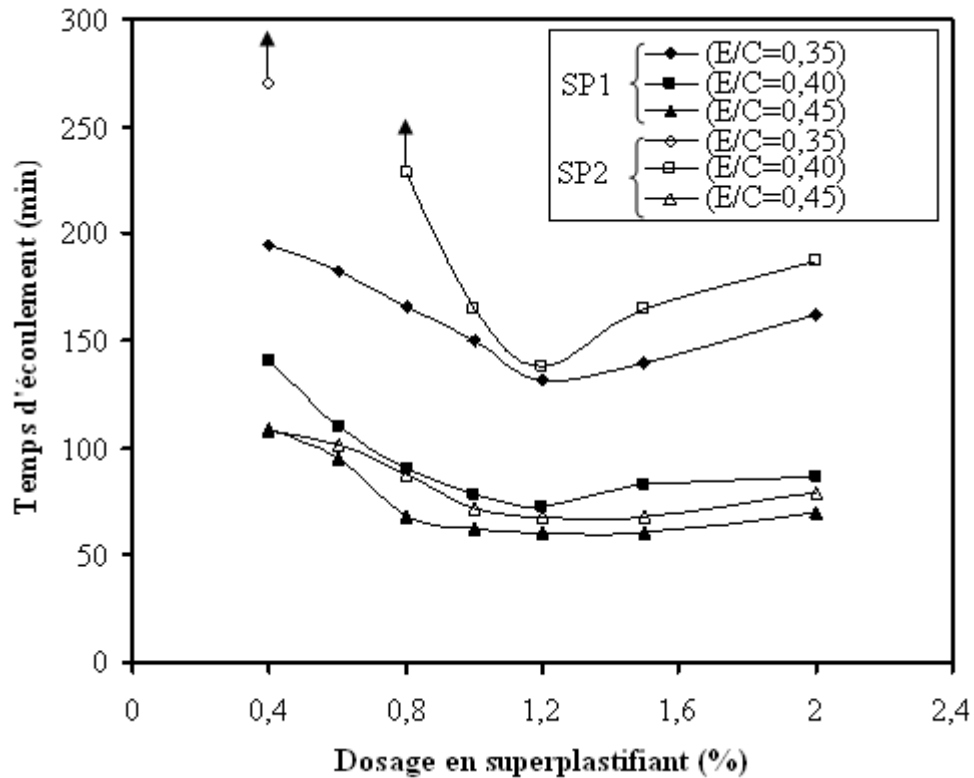


**Figure 5-10 :** Variation du temps d'écoulement pour différents dosage de SP1 et SP2 avec le Ciment C1

### 5.3.2. Fluidité du ciment C2

Les résultats de la fluidité à 60 minutes du ciment C2 sont illustrés sur la figure 5-11 pour les différents dosage de superplastifiant (SP1, SP2) et différents rapports E/C (0,35, 0,40 et 0,45). On remarque que le SP1 offre plus de fluidité au coulis à base de ciment C2 que le SP2. En outre la fluidité avec le SP2 se dégrade très vite avec la diminution de E/C et la pâte durcit au voisinage de E/C égal à 0,40. Par contre, avec le SP1 la fluidité à 60 minutes est indépendante du dosage en superplastifiant et devient invariable au delà de E/C supérieur à 0,4. Pour E/C égal à 0,45, la fluidité diminue de 133 secondes en utilisant le SP1 au lieu du SP2.





**Figure 5-11 :** Variation du temps d'écoulement pour différents dosage de SP1 et SP2 avec le Ciment C2

### 5.4. Perte de Fluidité

Dans les figures 5-12, 5-13, 5-14 et 5-15 on présente les courbes de la perte de fluidité des deux ciments C1, C2 en fonction du dosage en superplastifiant SP1, SP2 et les rapports E/C. Pour un rapport de E/C égal 0.45, on constate, sur la figure 5-12, que le mélange C1–SP1 offre une perte de fluidité inférieure à 20 secondes et varie entre 2 et 35 secondes lorsque le rapport E/C égale 0.40. En outre la perte de fluidité du ciment C1 se dégrade très vites avec l'augmentation du dosage en superplastifiant au-delà du dosage de saturation. Pour des rapports E/C très faibles égal à 0.35 on peut enregistrer une perte de fluidité supérieure à 70 secondes pour des dosages très faibles de l'ordre de 0.4% et 0.6% et inférieure à 20 secondes au voisinage du point de saturation.

En revanche, pour le mélange C1–SP2, on remarque, sur la figure 5-13, que la perte de fluidité du coulis devient plus importante avec la diminution du rapport E/C et diminue lorsque on augmente le dosage en superplastifiant et se stabilise au voisinage du point de saturation. De plus, pour E/C faible égal à 0.35, on obtient une pâte durcie quelque soit le dosage en superplastifiant.

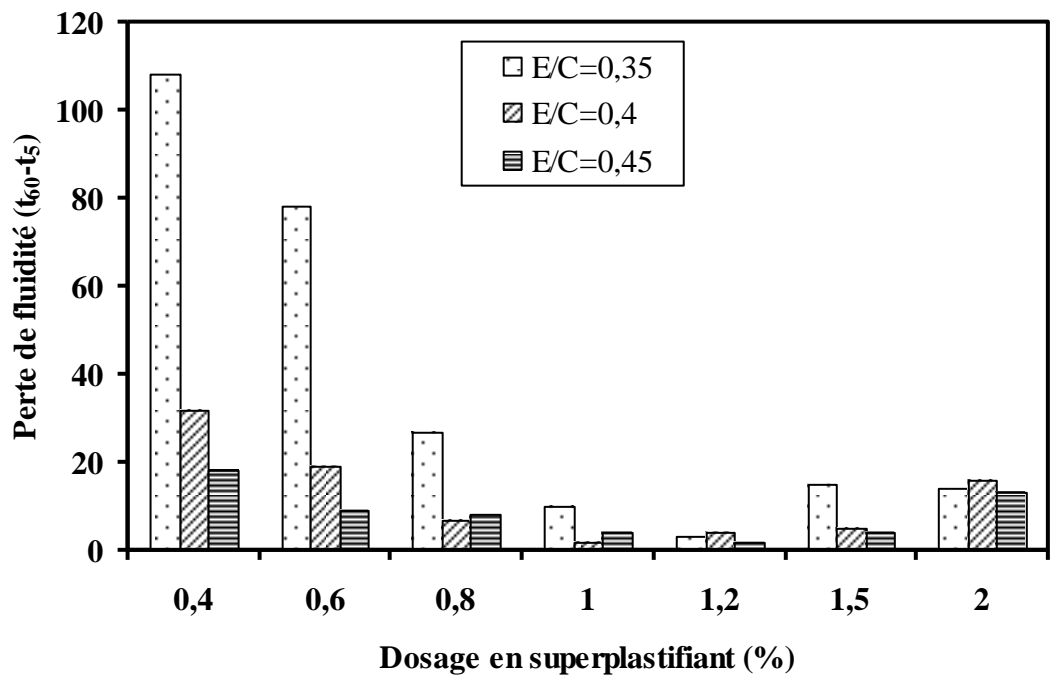


Figure 5-12 : Perte de fluidité (t<sub>60</sub>-t<sub>5</sub>) en fonction du dosage en superplastifiant (CI-SP1)

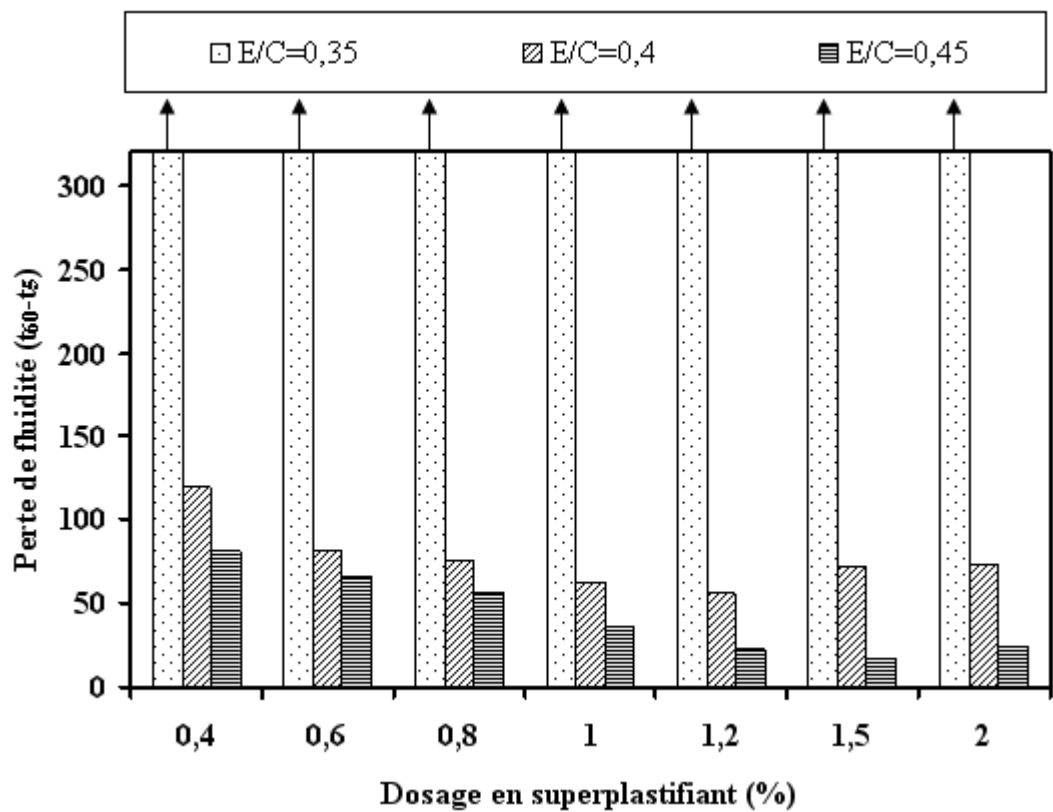
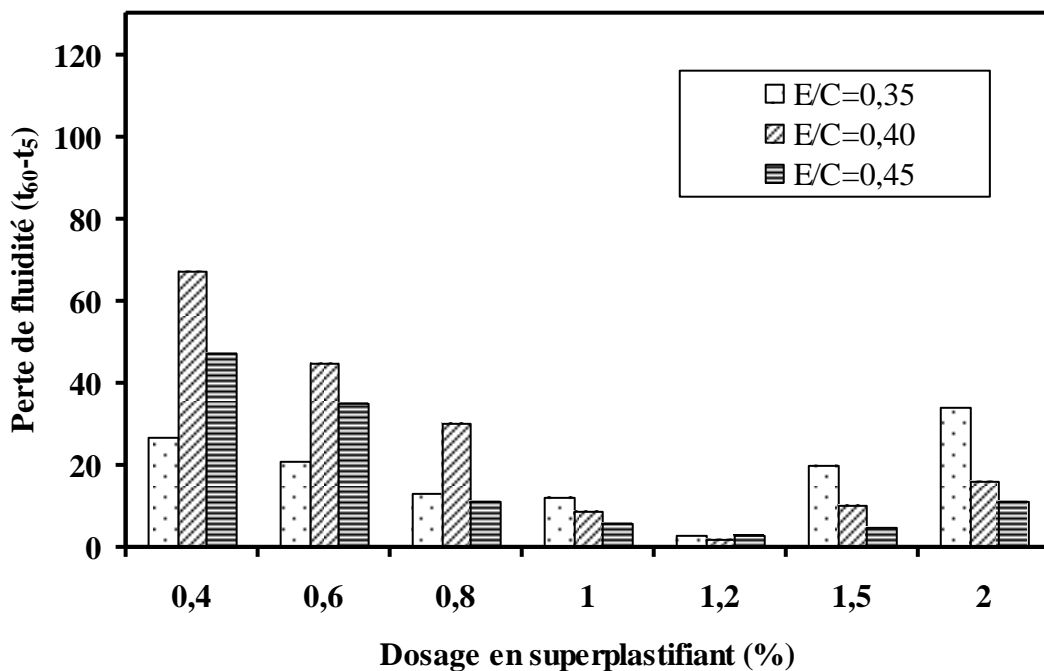


Figure 5-13 : Perte de fluidité (t<sub>60</sub>-t<sub>5</sub>) en fonction du dosage en superplastifiant (CI-SP2)

Par contre les résultats de la perte de fluidité du mélange C2–SP1 enregistrés dans les figures 5-14, 5-15, présentent une perte de fluidité supérieure à 20 secondes à des dosages très faibles de 0.4 et 0.6% pour trois rapport de E/C, au-delà les résultats restent pratiquement similaires à ceux du mélange C1–SP1. De même, lorsque le rapport E/C égal 0.4, le superplastifiant SP1 offre une perte de fluidité variant entre 2 et 67 secondes et une perte inférieure de 40 secondes pour un rapport de E/C égal à 0.35. En outre, on trouve que le coulis de ciment du mélange C2–SP2 se comporte comme une pâte durcie lorsque le rapport E/C égale 0.35. Pour un rapport E/C de 0.4, la pâte s'écoule comme un liquide visqueux surtout au voisinage du point de saturation. Par contre pour un rapport E/C égal à 0.45, la perte de fluidité diminue significativement avec l'augmentation du dosage en superplastifiant.



**Figure 5-14 :** Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction du dosage en superplastifiant (C2-SP1)

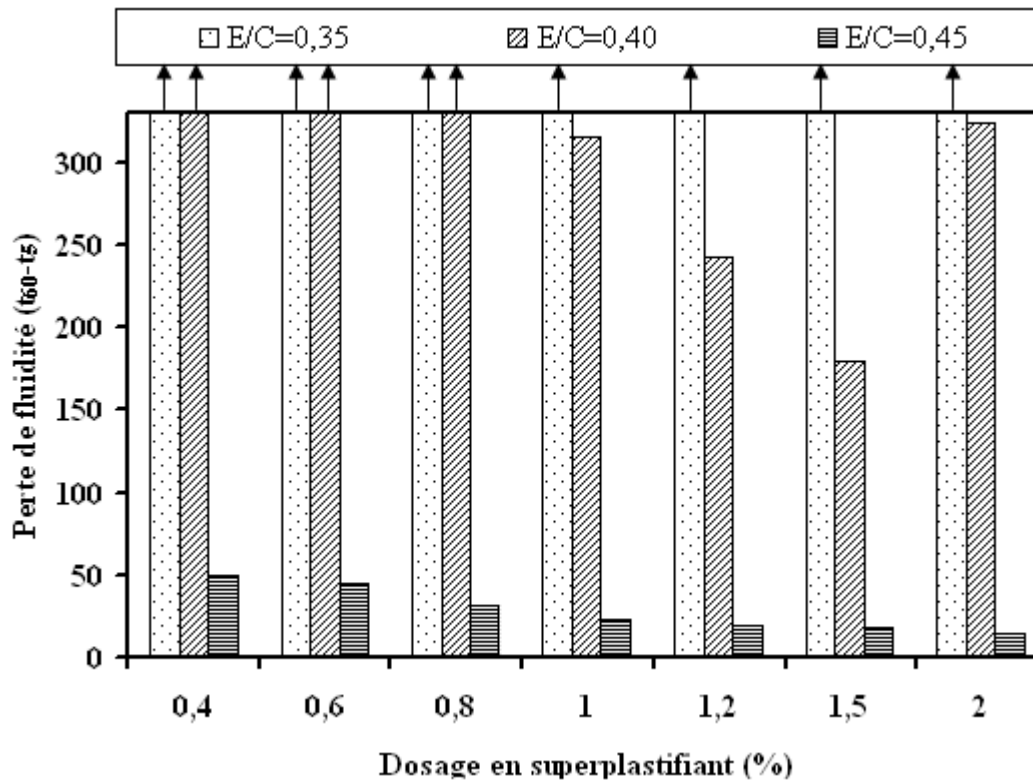


Figure 5-15 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction du dosage en superplastifiant(C2-SP2)

### 5.5. Compatibilité des coulis

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 les figures 5-16 et 5-17 témoignent de l'effet joué par le type de superplastifiant dans l'amélioration de la fluidité de la pâte et de sa compatibilité. Le superplastifiant SP1 s'avère le mieux compatible avec les deux types de ciment où il engendre une fluidité acceptable à 5 minutes et une perte marginale à 60 minutes. Par contre le superplastifiant SP2 présente une perte de fluidité à 60 minutes très importante et parfois se manifestant par une pâte durcie pour les faibles dosages. Malgré que ce superplastifiant présente une fluidité à 5 minutes similaire à celle du SP1 avec les deux types de ciment, cette fluidité est rapidement perdue au cours du temps. Le tableau 5-1 récapitule les résultats de compatibilité des différents couples étudiés. On peut noter que pour les deux types de ciments, le superplastifiant SP2 reste incompatible pour différents dosages engendrant une perte de fluidité qui dépassent les 60 secondes pour un E/C égal à 0,4 par contre le superplastifiant SP1 ne génère qu'une perte de 2 secondes au voisinage de son dosage de saturation.

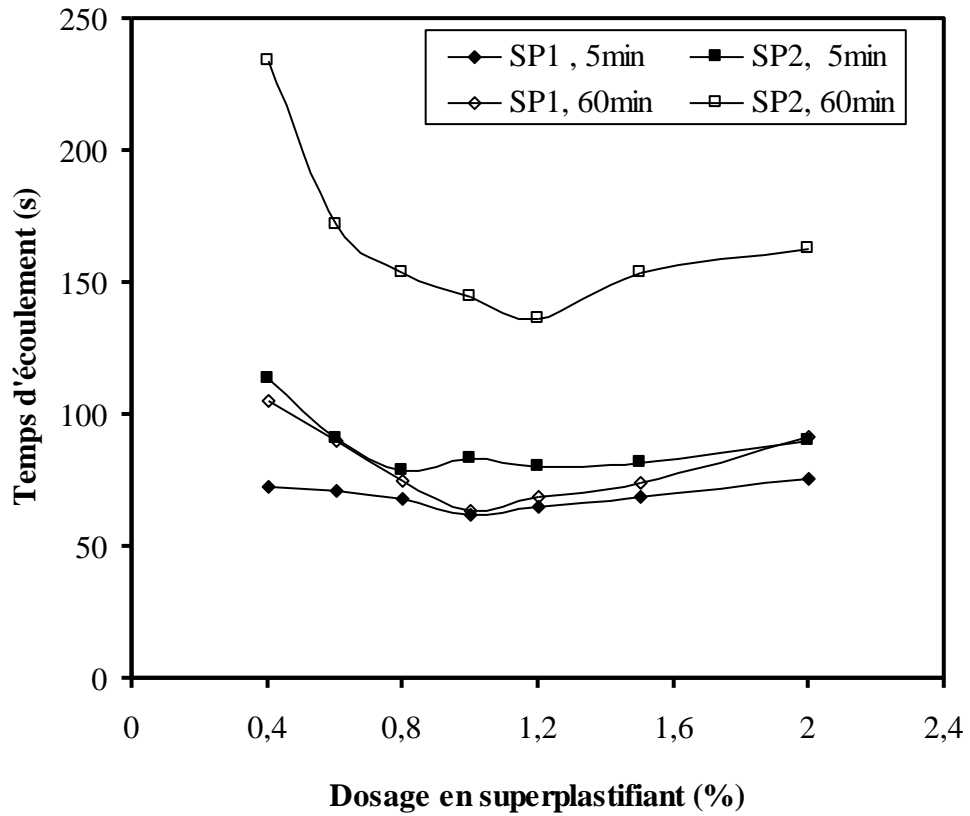


Figure 5-16 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de superplastifiants (Ciment C1, E/C=0.4)

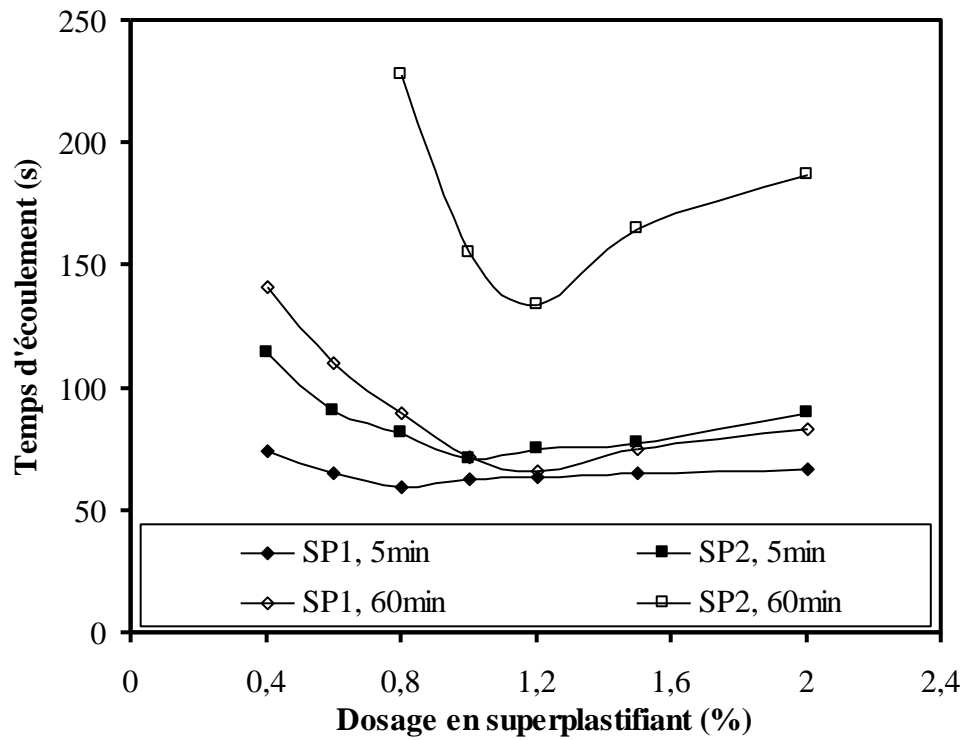


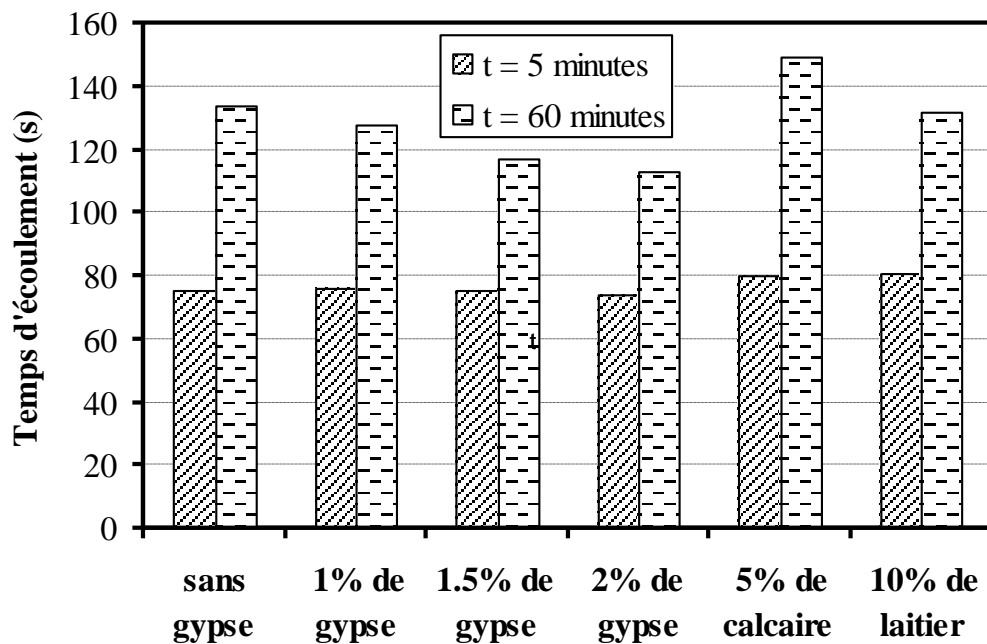
Figure 5-17 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de superplastifiants (Ciment C2, E/C=0.4)

**Tableau 5-1** : Résultats de compatibilité des couples ciment-superplastifiant.

Ciment	Superplastifiant	E/C =0.35	E/C =0.40	E/C =0.45
Chlef C1	SP1	Compatible	Compatible	Compatible
	SP2	Incompatible	Incompatible	Incompatible
Zahana C2	SP1	Compatible	Compatible	Compatible
	SP2	Incompatible	Incompatible	Incompatible

### 5.6. Correction des cas d'incompatibilité

Afin de corriger les cas d'incompatibilité observés sur le coulis C2-SP2, on a essayé d'incorporer des substances minérales afin de lutter contre ce phénomène. L'étude consiste à introduire pour des dosage de saturation en superplastifiant (1.2%) des proportions de gypse, de calcaire et de laitier. Le choix du gypse est basé sur son pouvoir réactif avec le  $C_3A$  que sa présence gêne considérablement la fluidité de la pâte. Les deux autres ajouts sont utilisés dû à leurs activités opposées au jeune âge. Les résultats illustrés sur la figure 5-18 montrent que la fluidité mesurée à 5 minutes pour les différents coulis est pratiquement constante et indépendante de l'ajout incorporé. Le fluidité mesurée à 60 minutes est plus sensible à la présence du gypse d'où une perte de fluidité moins importante lorsque le gypse est abondant. La présence du laitier et du calcaire favorise l'hydratation et augmente la perte de fluidité engendrant une diminution de l'efficacité de ce superplastifiant. Finalement, le problème de compatibilité de certains couples restera toujours posé malgré l'amélioration constatée lors de l'augmentation de la présence du gypse. Il nous semble que la présence combinée d'autres ajouts et d'autres superplastifiants peut diminuer ce cas d'incompatibilité.



**Figure 5-18 :** Variation du temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différentes substitutions par les ajouts minéraux. (Ciment C2, E/C=0.4, SP2=1.2%)

## 5.7. Discussion

Les superplastifiants représentent les adjuvants les plus utilisés qui occupent 31% du marché de ce type de produit. Leur dosage moyen varie entre 0,8 et 3% par rapport à la masse du ciment. Ils permettent soit de réduire la quantité d'eau de gâchage (de 15 à 30%) sans affecter l'ouvrabilité soit d'augmenter l'ouvrabilité tout en conservant les performances du mortier ou du béton. L'augmentation des performances grâce à l'introduction de superplastifiant est importante dans plusieurs domaines ; résistances mécaniques initiales et finales élevées, diminution de la porosité et amélioration de la durabilité [116]. Ce type d'adjuvants regroupe principalement des mélamine sulfonates (PMS) ou des naphthalène sulfonates (PNS) qui constituent les deux types utilisés dans ce travail.

Les superplastifiants sont ajoutés aux pâtes de ciment, aux mortiers et aux bétons pour augmenter leur maniabilité à E/C constant ou pour diminuer leur E/C à fluidité constante. En augmentant le dosage en superplastifiant, on atteint un point de saturation qui représente la quantité de superplastifiant au-delà de laquelle il n'y a plus d'effet mesurable additionnel sur la fluidité du coulis de ciment. A partir de ce point, tout ajout

complémentaire de superplastifiant n'a plus qu'un effet très faible sur l'ouvrabilité. Pour des raisons économiques, il n'est pas intéressant d'aller au-delà de ce dosage, car l'effet est marginal pour un coût croissant. Les résultats représentés sur les figure 5-1 et 5-2 montrent que le point de saturation se situe entre 1 et 1.2 % de dosage pour les différentes combinaisons de ciment et de superplastifiant. Ceci confirme les résultats trouvés par Djeddar [117], où le dosage de saturation de Médaplast et de Médafluide passe de 0.6 et 1.2 à 1.5 et 2 % respectivement pour le ciment de Chlef et le ciment de Zahana.

Les variations de la fluidité des coulis en fonction du dosage en superplastifiant ont mis en évidence que l'augmentation du dosage d'un des superplastifiants n'a plus d'influence sur la fluidité du mortier à partir d'une certaine valeur. Cette caractéristique est maintenant bien connue et confirmée par plusieurs recherches [113]; il s'agit du dosage à saturation. La détermination de ces dosages pour chaque superplastifiant montre que ces derniers se comportent d'une façon différente suivant le type de ciment et le rapport E/C. Il est évident que le type et la composition de l'adjuvant, et même son mode d'action, influent fortement sur son efficacité et sur son dosage de saturation. Comme on peut remarquer, dans les (figure 5-3, 5-4, 5-5), que la fluidité de SP1 est plus importante que celle de SP2 quelque soit le type de ciment et le rapport E/C.

En effet, certains travaux [82] ont prouvé, à partir de l'analyse d'eau interstitielle, que les ciments riches en  $C_3A$  consomment un grand nombre des polymères supplémentaires de superplastifiant dans les premières minutes d'hydratation. La demande élevée en SP1 constatée pour le ciment C1 est due probablement à la forte teneur en  $C_3A$  (5.1%). En revanche la faible demande en SP2 du ciment C2 est due à la faible teneur en  $C_3A$  (3.8%). Ceci explique l'amélioration de la fluidité observée à 60 minutes lors de l'augmentation du gypse dans le couple C2-SP2.

De même, l'efficacité d'un superplastifiant peut être attribuée à la nature chimique de l'adjuvant SP1 formée de longues chaînes moléculaires qui permettent de bien recouvrir les particules de ciment et d'assurer une bonne dispersion. Ceci est en conformité avec d'autres résultats [7, 46] qui ont prouvé que des superplastifiants constitués de polymère avec des chaînes plus longues ont des possibilités de dispersion plus élevées, alors que les polymères à chaînes plus courtes ont une influence plus prononcée sur le retardement de



prise. L'efficacité des adjuvants dépend donc essentiellement de leur nature chimique mais aussi de leur masse molaire [47]. Des résultats similaires ont été observés par Reknes [113] où la viscosité d'un béton (BAP) est plus importante lors de la présence d'un superplastifiant ayant un faible poids moléculaire.

Pour l'inversion du comportement, constaté sur la figure 5-5, où la combinaison du SP2 avec le ciment C2 donne plus de fluidité que le SP1 avant de se dégrader pour des dosages supérieurs au dosage de saturation. Ce résultat s'explique par la présence de pouzzolane dans le ciment C2 qui permet en effet de retarder l'hydratation de l'aluminate tricalcique ainsi que la formation de l'étringite. Par contre la présence du calcaire (5 à 15 %) dans le ciment C1 contribue à l'accélération de l'hydratation de l'aluminate tricalcique ainsi que la formation de l'étringite accompagné par une baisse de fluidité [114]. Ceci confirme les résultats d'autres études faites sur le calcaire où les ciments composés nécessitent plus de superplastifiant pour obtenir un étalement donné [115].

Selon le type de ciment, différentes réactions chimiques peuvent se produire où la modification de la rhéologie est possible suivant l'intensité de ces réactions et la teneur en ions de la solution. La présence de calcaire influe fortement sur l'absorption de l'adjuvant et sur son efficacité. Ceci confirme la grande fluidité du ciment C1 avec SP1 (figures 5-6, 5-7). De plus, la faible fluidité du ciment C2 avec SP2 revient à la présence de la pouzzolane qui entraîne une diminution significative de la fluidité du coulis par sa composition chimique riche en aluminates et sa grande finesse. Ceci est confirmé par les résultats trouvés par d'autres chercheurs sur les ciments pouzzolaniques [116].

L'analyse des résultats de la fluidité trouvés (figures 5-10) montre que l'augmentation de la quantité d'alcalis dans les ciments, surtout les ciments avec arcanite ( $K_2SO_4$ ), augmente de façon significative la dégradation de la fluidité des coulis après 60 minutes du début de malaxage. Cette dégradation de la fluidité est associée à une viscosité élevée pour des rapports  $E/C=0.35$ , malgré la présence de superplastifiant. Des constatations identiques ont été observées par d'autres chercheurs [117]. Ces constatations indiquent que l'augmentation de la quantité d'alcalis augmente de façon significative la perte de fluidité des coulis. A ce fait beaucoup de chercheurs stipulent qu'il existe d'ailleurs une teneur optimale en alcalis solubles dans le cas où l'on utilise un PNS ou un PMS. L'effet principal

des alcalis serait de réduire l'adsorption des molécules de PNS ou PMS en fournissant les ions  $\text{SO}_4^{-2}$  nécessaires à la neutralisation des sites actifs de la phase interstitielle du ciment. Un second effet de l'introduction de ces alcalis est d'augmenter aussi le pH de la solution interstitielle du mortier ou du béton frais qui favorise aussi la non adsorption des molécules de superplastifiant sur le  $\text{C}_3\text{A}$ .

D'après la figure 5-12, les ciments se comportent comme des suspensions viscoplastiques, c'est-à-dire, qu'au-dessous d'une certaine valeur de la contrainte critique (le seuil d'écoulement), la matière se comporte comme un solide, mais s'écoule comme un liquide visqueux quand cette contrainte est dépassée ( $\tau > \tau_0$ ). Cela peut être expliqué par la grande finesse des ciments C1 et C2 (370 et 335  $\text{m}^2/\text{Kg}$ ) et par la solubilité insuffisante des ions  $\text{SO}_4^{-2}$  pour le ciment C2 qui possède la plus faible teneur en  $\text{SO}_3$  (1.95%). De nombreuses études [13, 20, 21, 22] ont été menées concernant l'effet de la finesse du ciment portland sur l'interaction ciment -superplastifiant et ont trouvé que la viscosité des pâtes de ciment accrue avec la fraction fine de ciment.

## 5.8. Conclusion

Les résultats obtenus par cette étude peuvent mener aux conclusions suivantes :

- 1- Les résultats semblent que plus le dosage en superplastifiant et le rapport E/C sont élevés, plus le comportement rhéologique se maintient dans le temps. La présence de superplastifiant au voisinage du dosage de saturation permet en effet de disperser efficacement les grains de la suspension.
- 2- La fluidité est meilleure lorsque le superplastifiant à base de mélamine sulfonée (PMS) est ajouté, surtout dans le cas du ciment C1 à base de calcaire. Cet effet est beaucoup moins sensible avec le superplastifiant à base de naphthalène sulfoné (PNS)
- 3- L'interaction du superplastifiant avec le ciment peut entraîner certains désagréments. D'après les résultats certaines combinaisons ciment-superplastifiants sont dites compatibles c'est à dire qu'on peut fabriquer un béton ayant un grand affaissement initial qui se conserve dans le temps (de la fabrication

jusqu'à la mise en place du béton sur chantier). D'autres combinaisons sont incompatibles, c'est à dire que l'affaissement initial élevé obtenu à l'aide du superplastifiant est rapidement perdu. Ce phénomène peut être très pénalisant dans le cas où on utilise le SP2.

- 4- L'efficacité d'un superplastifiant est directement liée à la composition du ciment utilisé, sa finesse, la présence d'alcali, son taux de  $C_3A$  ainsi que les ajouts substituant le ciment.
  
- 5- L'augmentation de E/C fait disparaître les écarts de fluidité et de perte de fluidité. Cette dernière est plus significative avec le superplastifiant SP2, surtout pour des faibles rapports E/C.

# *Chapitre VI*

*Fluidité des coulis sous une  
température élevée.*

## 6.1. Introduction

Cette étude expérimentale vise à quantifier l'effet d'une température ambiante élevée sur la fluidité du coulis mesurée au cône de Marsh. Cette situation est fréquemment rencontrée lors de la mise en œuvre du béton sur le chantier où des conditions sévères de températures règne en période estivale et surtout au sud du pays.

## 6.2. Présentation des essais

Les différentes combinaisons de coulis se sont étudiés avec un dosage en superplastifiant de 1.2% simulant celui de l'état de saturation dans la plus part des cas observés. Le tableau 6-1 présente les paramètres des essais envisagés. Les conditions de températures sont celles du jour où la température fluctue entre 20 et 40°C. Les jours choisis sont les jours les plus chauds observés durant cette période comme c'est déjà présenté dans la figure 4-2 au chapitre 4. Plusieurs gâchées de coulis se sont préparées et ne sont malaxées avec de l'eau qu'un fois la température ambiante et mesurée dans une éprouvette d'eau atteignent une valeur prédéterminées.

**Tableau 6-1 : 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, 0.4, 0.45	SP1 (1.2%), SP2 (1.2%)	C1, C2

## 6.3. Résultats obtenus

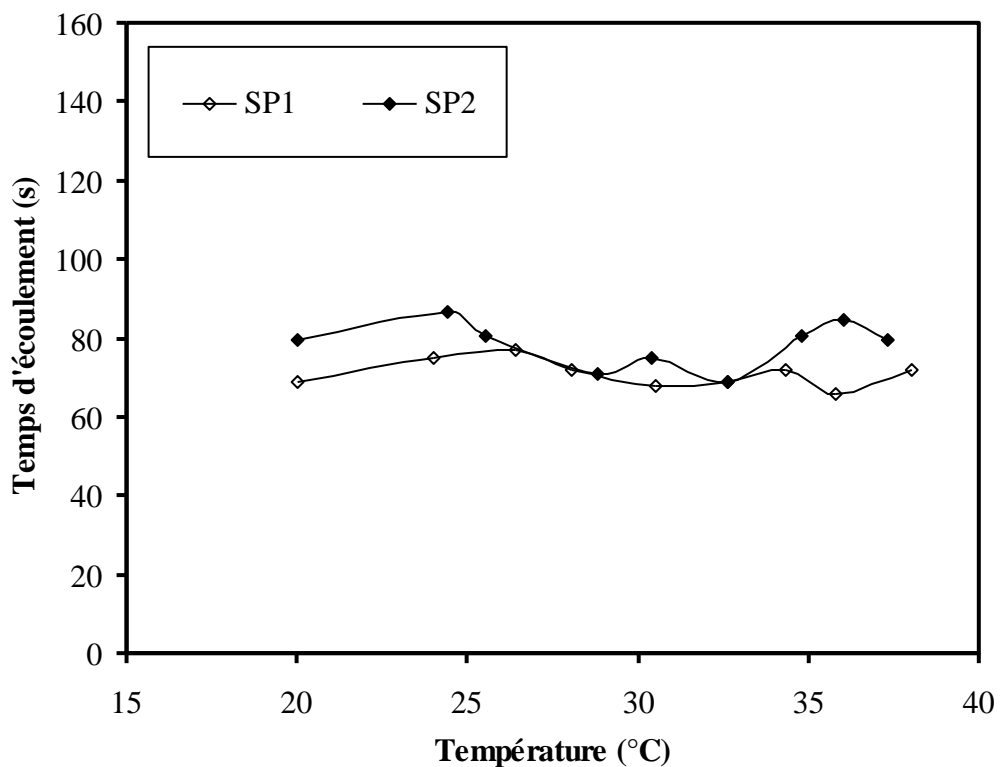
Pour la même composition, plusieurs gâchées se sont préparées et essayant de balayer la plage de température journalière. Entre 5 et 60 minutes, on a essayé de maintenir la température constante en utilisant parfois des moyens artificiels. Un thermomètre est laissé émerger dans le coulis pour suivre l'évolution de la température et le coulis est rejeté si l'écart est trop important. Le comportement de chaque coulis est analysé selon les résultats de sa fluidité à 5 et à 60 minutes.

### 6.3.1. Fluidité à 5 minutes

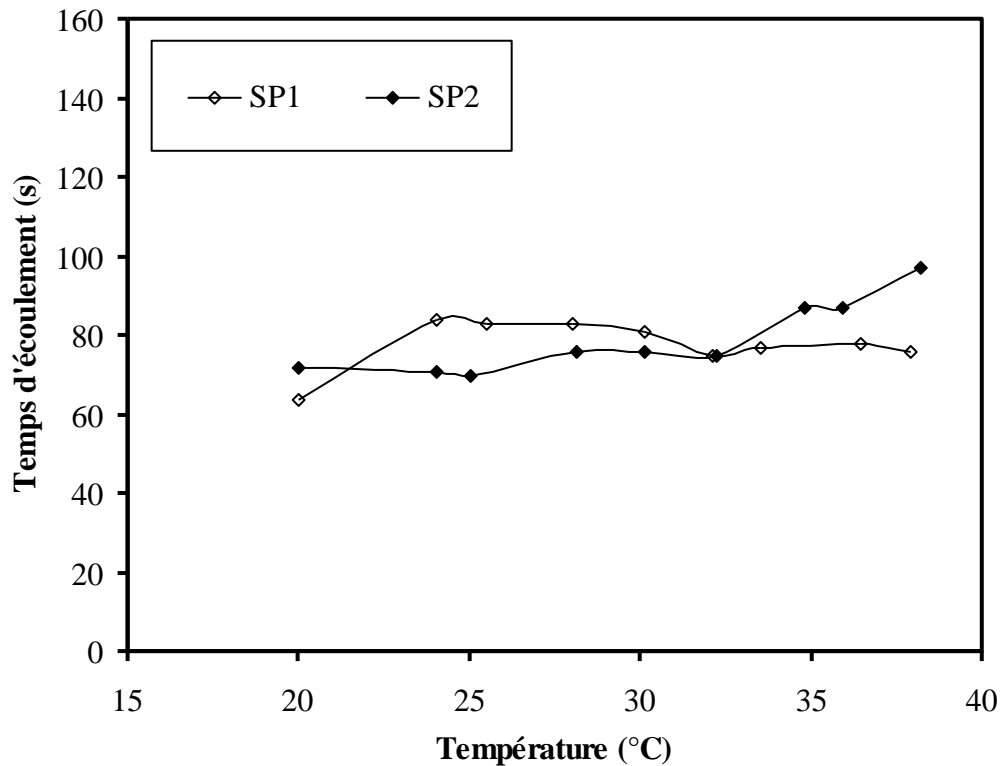
#### 6.3.1.1. Effet du type de SP

La fluidité du coulis à 5 minutes est largement influencée par le type de superplastifiant. Sur les figures 6-1 et 6-2 se sont présentés les résultats mesurés au cône de Marsh, d'où on aperçoit, sur la figure 6-1, une légère fluctuation avec l'élévation de température. Pour le ciment C1, les deux superplastifiants présentent une petite augmentation du temps d'écoulement lorsque la température croit 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.

Pour le ciment C2, la variation du temps d'écoulement avec l'élévation de la température est directement liée au type de superplastifiant. Le SP1 subit une perte de fluidité dans la plage de température entre 20 et 25°C, ensuite sa fluidité reste pratiquement stable comme s'est illustré sur la figure 6-2. Par contre le SP2, présente une stabilité de fluidité avec l'élévation de température avant de se dégrader significativement au-delà de 32°C où la variation est presque linéaire.



**Figure 6-1:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour le ciment C1 et les deux types de superplastifiants en fonction de la température ( $E/C=0.4$ ).

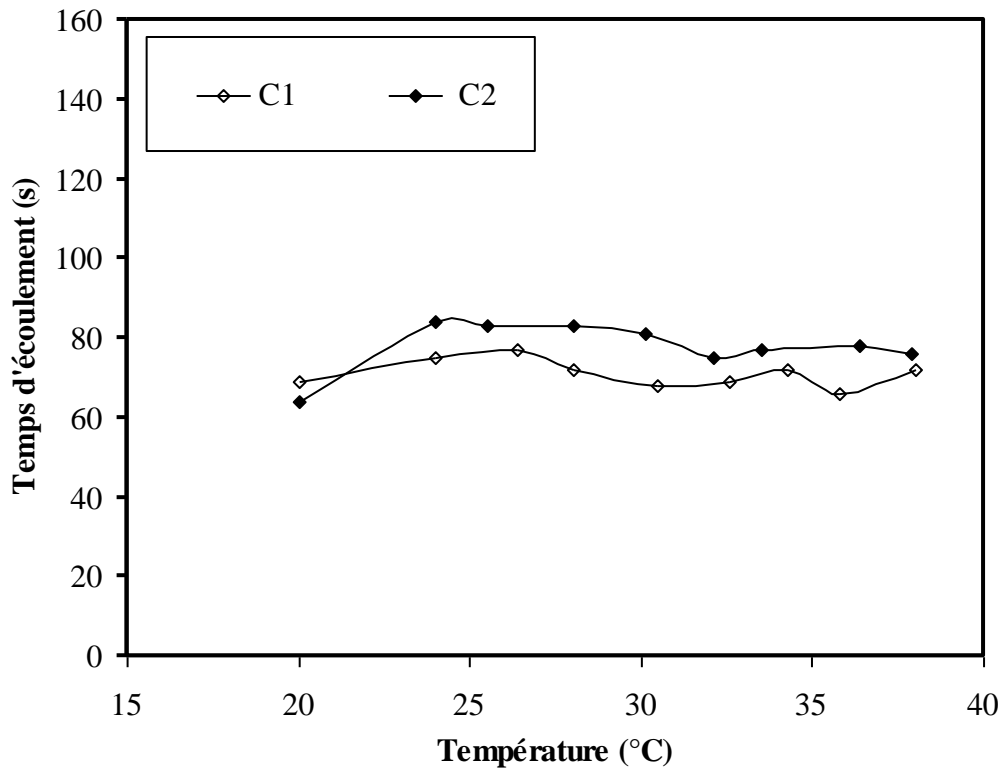


**Figure 6-2:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour le ciment C2 et les deux types de superplastifiants en fonction de la température ( $E/C=0.4$ ).

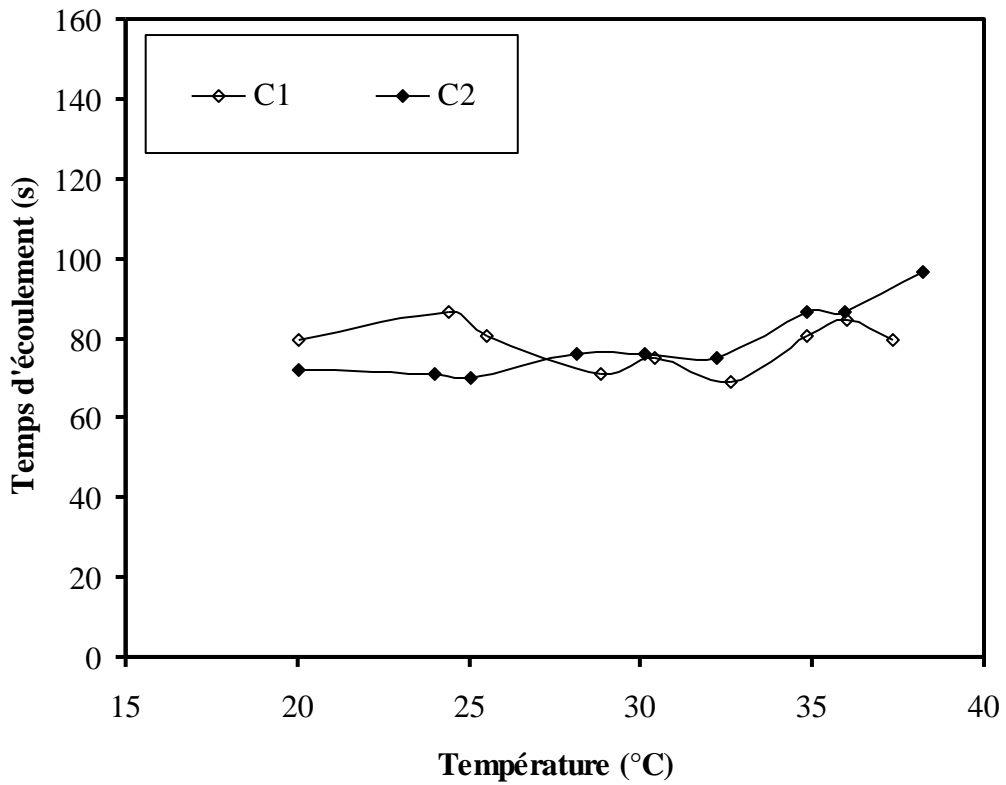
### 6.3.1.2. Effet du type de ciment

Pour un  $E/C$  de 0.4, l'effet du type de ciment sur le temps d'écoulement sous différentes températures s'avère moins marqué que l'effet du superplastifiant. Sur la figure 6-3, l'effet de la température sur la fluidité du coulis confectionné avec le superplastifiant SP1 est le même pour les deux types de ciments. Les deux ciments présentent une baisse de fluidité pour les basses températures et au-delà de 25°C la fluidité reste stable.

L'effet de la température sur la fluidité du ciment avec le superplastifiant SP2 est représenté sur la figure 6-4. Pour une température inférieure à 32°C, l'effet du type de ciment est très marqué où le ciment C1 semble le plus sensible à l'élévation de température. Pour des températures supérieures, les deux types de ciment se caractérisent par un comportement similaire où l'effet de la température fait croître le temps d'écoulement d'une façon linéaire indépendamment du type de ciment.



**Figure 6-3:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour le superplastifiant SP1 et les deux types de ciments en fonction de la température (E/C=0.4)

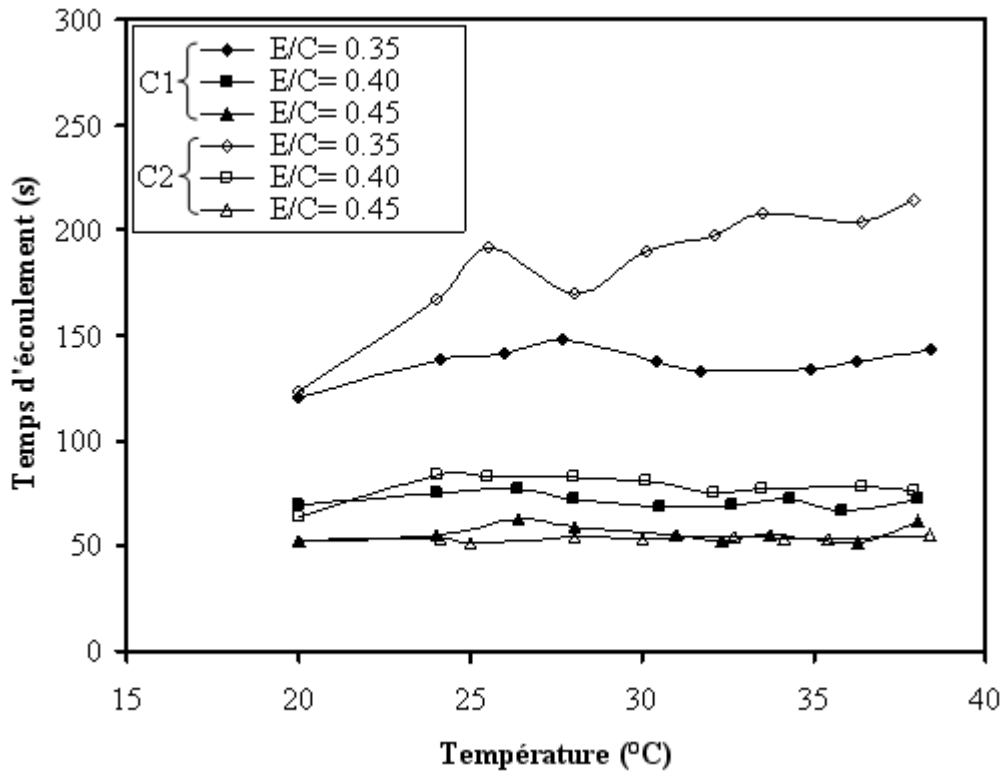


**Figure 6-4:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour le superplastifiant SP2 et les deux types de ciments en fonction de la température (E/C=0.4)

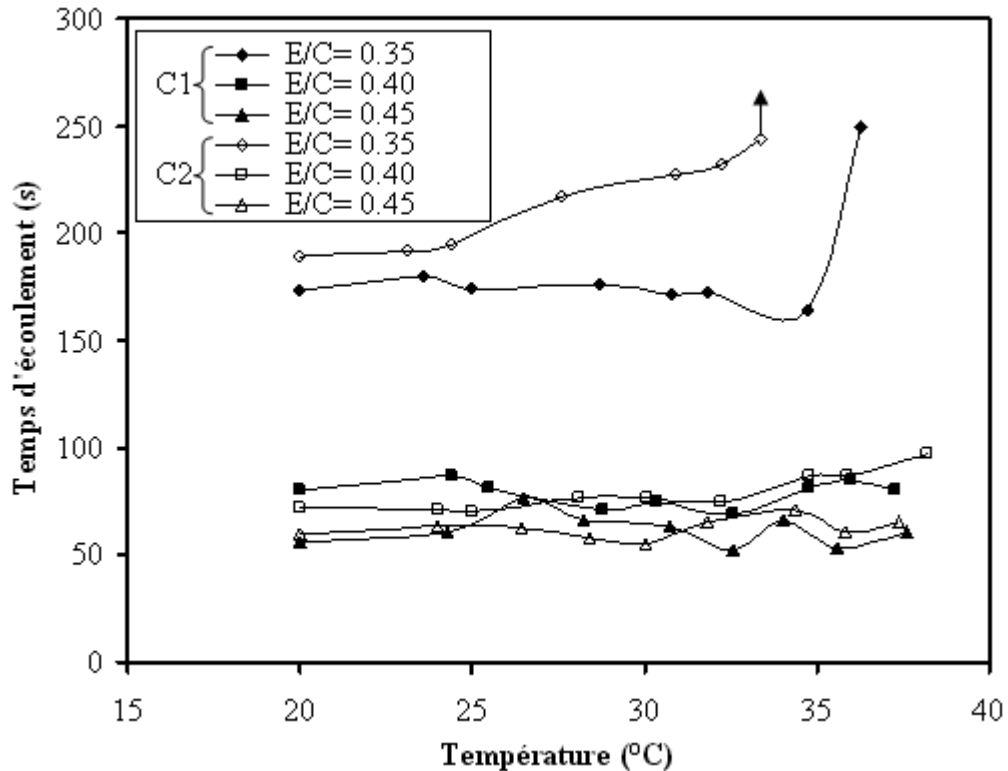


### 6.3.1.3. Effet du rapport E/C

En faisant varier le rapport E/C, l'effet de la température sur le temps d'écoulement des différents coulis devient de plus en plus marquant. Les figures 6-5 et 6-6 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 surtout pour le ciment C2. 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 6-5:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de ciments en fonction de la température (SP1)



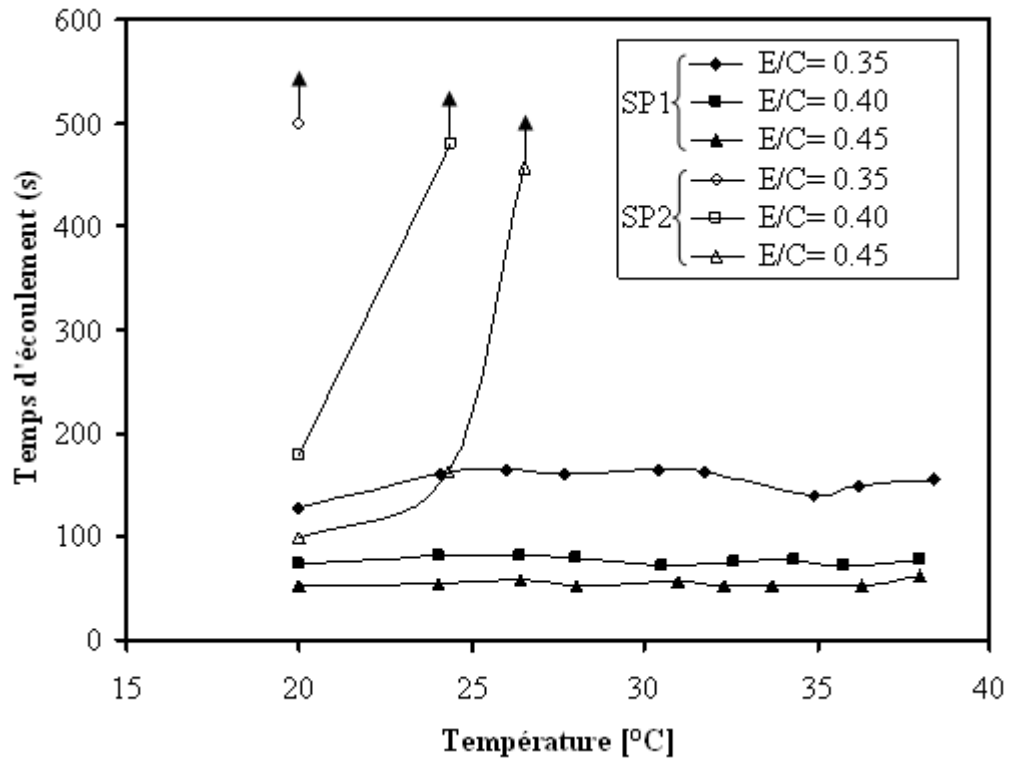
**Figure 6-6:** Variation de la fluidité à 5 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de ciments en fonction de la température (SP2)

### 6.3.2. Fluidité à 60 minutes

#### 6.3.2.1. Fluidité du ciment C1

A 60 minutes après le premier contact avec de l'eau, la pâte confectionnée avec le ciment C1 présente une fluidité liée au type de superplastifiant. La figure 6-7 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 ou le rapport E/C descend à 0.35.

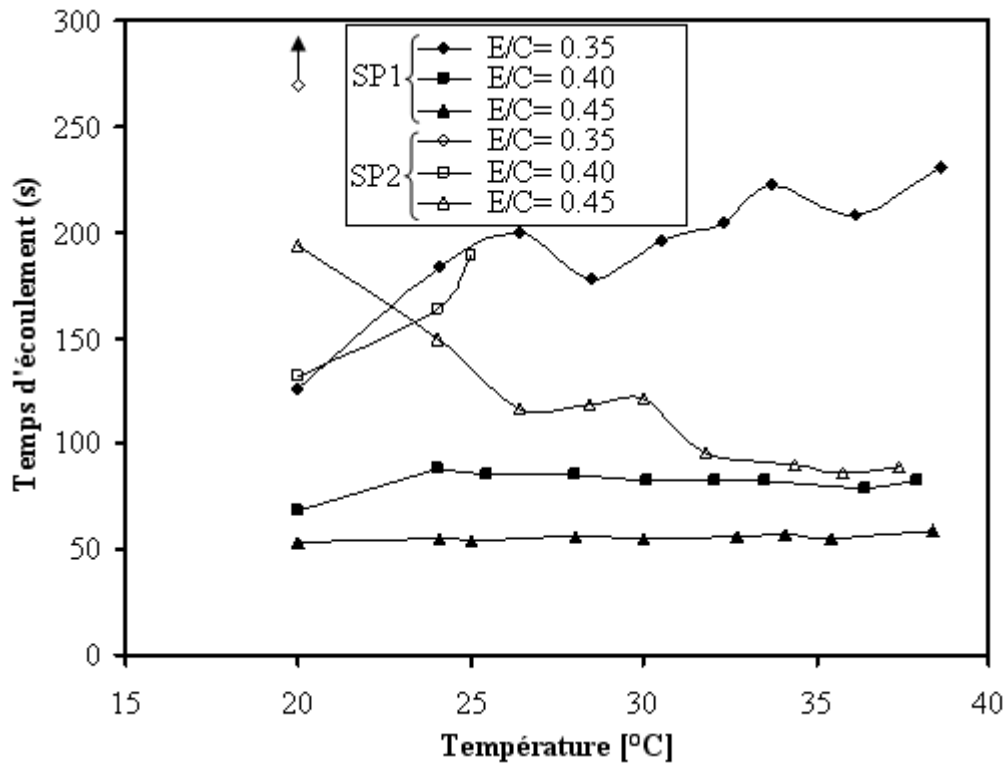


**Figure 6-7:** Variation de la fluidité à 60 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de superplastifiant en fonction de la température (C1)

### 6.3.2.2. Fluidité du ciment C2

La fluidité du ciment C2 mesurée à 60 minutes du malaxage est liée à la température de conservation du coulis. La figure 6-8 montre une forte dépendance de la fluidité avec la température de conservation et la composition du coulis. En combinaison avec le superplastifiant SP1, l'effet de la température de conservation est plus important lorsque le rapport E/C diminue. Le temps d'écoulement augmente progressivement avec l'élévation de la température pour un E/C de 0.35 par contre cet effet devient marginale lorsque le E/C augmente.

La présence du superplastifiant SP2 confère au coulis une forte dépendance de la température. La fluidité est rapidement dégradée pour les faibles rapports E/C et pour les premières montées de température. Pour un rapport E/C de 0.45, une amélioration de la fluidité est constatée avec l'élévation de température, une diminution du temps d'écoulement de 100 secondes est enregistrée lorsque la température passe de 20 à 38°C. Cette constatation peut être attribuée à une efficacité accrue du superplastifiant avec la température, à un ciment mal conservé ou à des erreurs systématique d'essai.



**Figure 6-8:** Variation de la fluidité à 60 minutes pour différents rapports E/C et les deux types de superplastifiant en fonction de la température (C2)

### 6.3.2.3. 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, les figures 6-9 et 6-10 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 et au type de ciment. La figure 5-9 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. Lorsque le superplastifiant SP1 est incorporé avec le ciment C2 une nette résistance au effet de la température est constatée. La perte de fluidité n'est que de 9, 4 et 3 secondes pour un E/C respectivement de 0.35, 0.4 et 0.45. De même la température 30°C semble avoir donné les meilleures performances de fluidité au coulis.

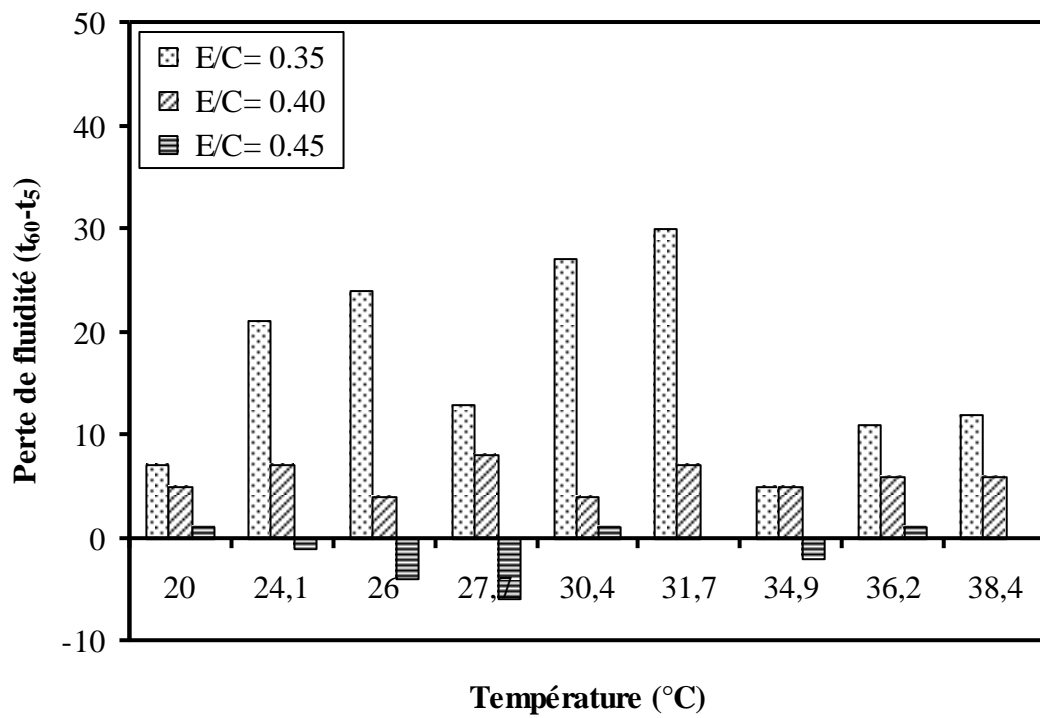


Figure 6-9 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C1-SP1)

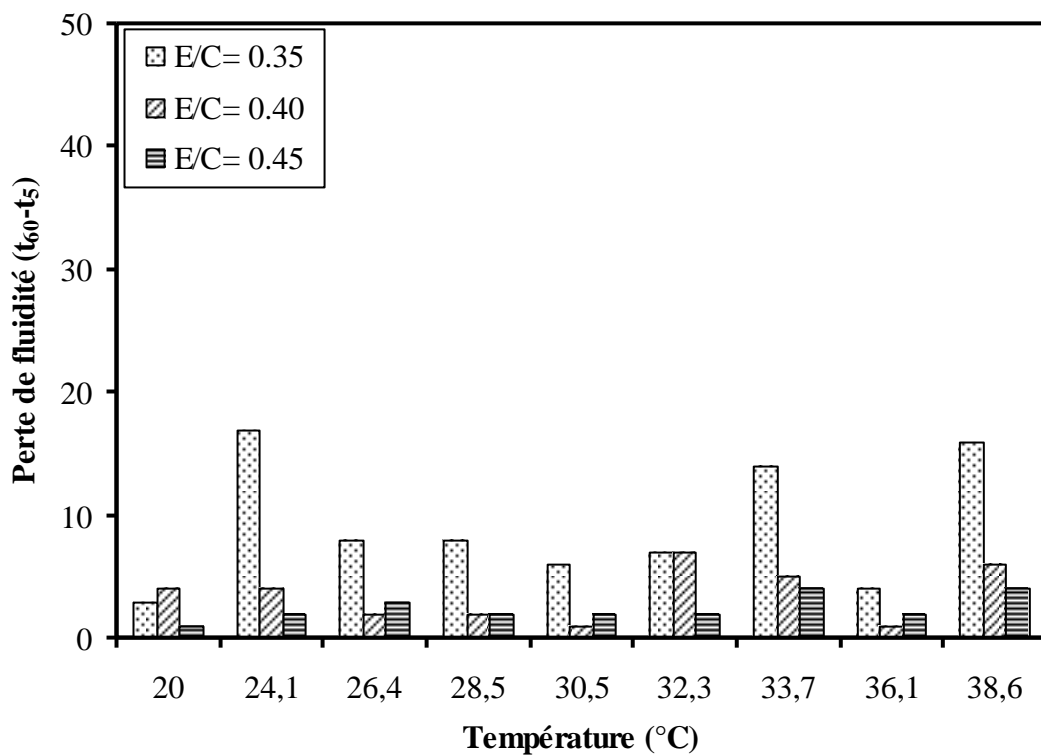
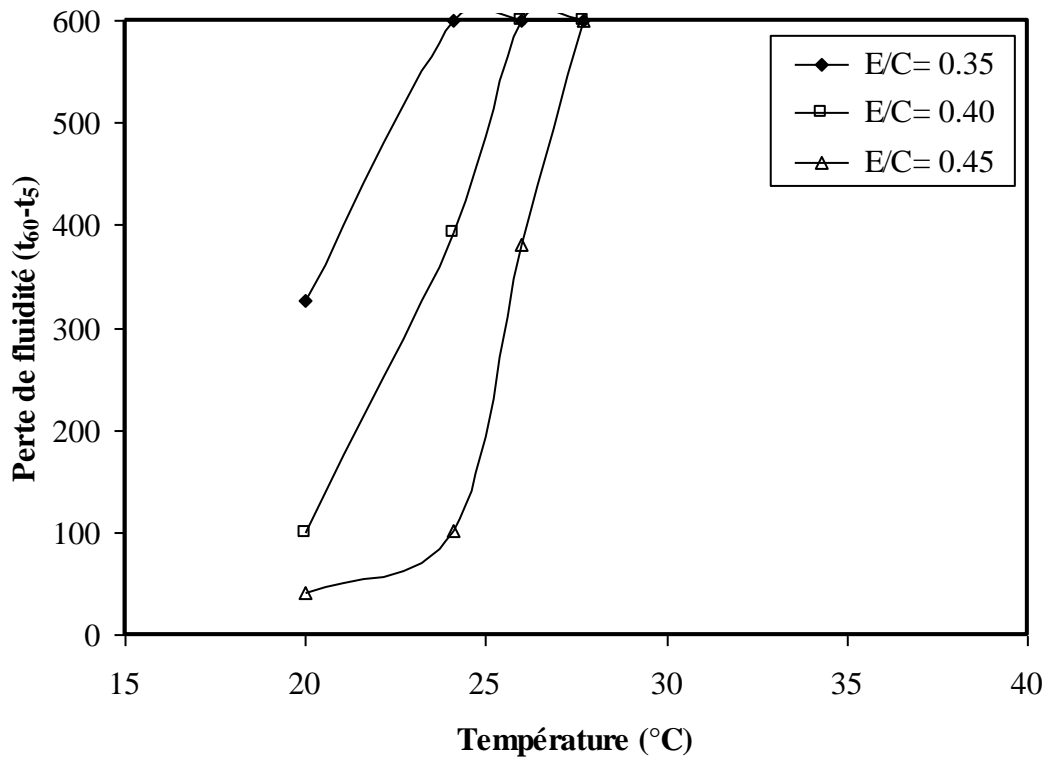


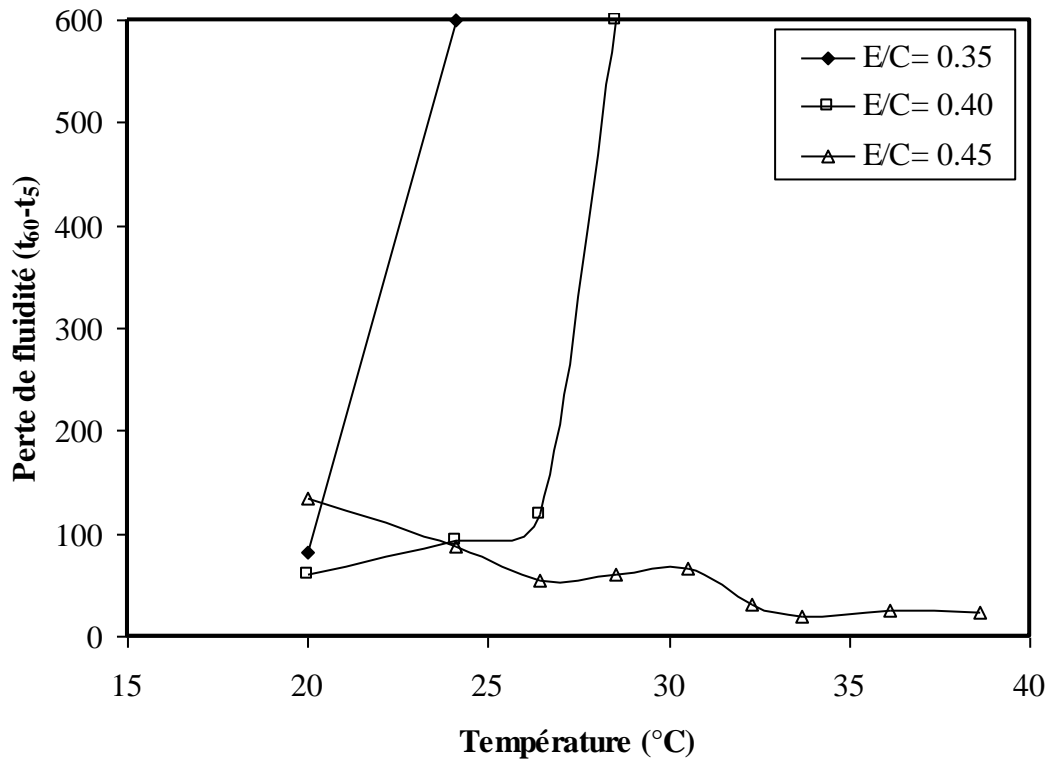
Figure 6-10 : Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C2-SP1)

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. Les figures 6-11 et 6-12 présentent les différences 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.

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 augmenter la fluidité et la perte.



**Figure 6-11 :** Perte de fluidité (t<sub>60</sub>-t<sub>5</sub>) en fonction de la température ambiante (C1-SP2)



**Figure 6-12 :** Perte de fluidité ( $t_{60-t_5}$ ) en fonction de la température ambiante (C2-SP2)

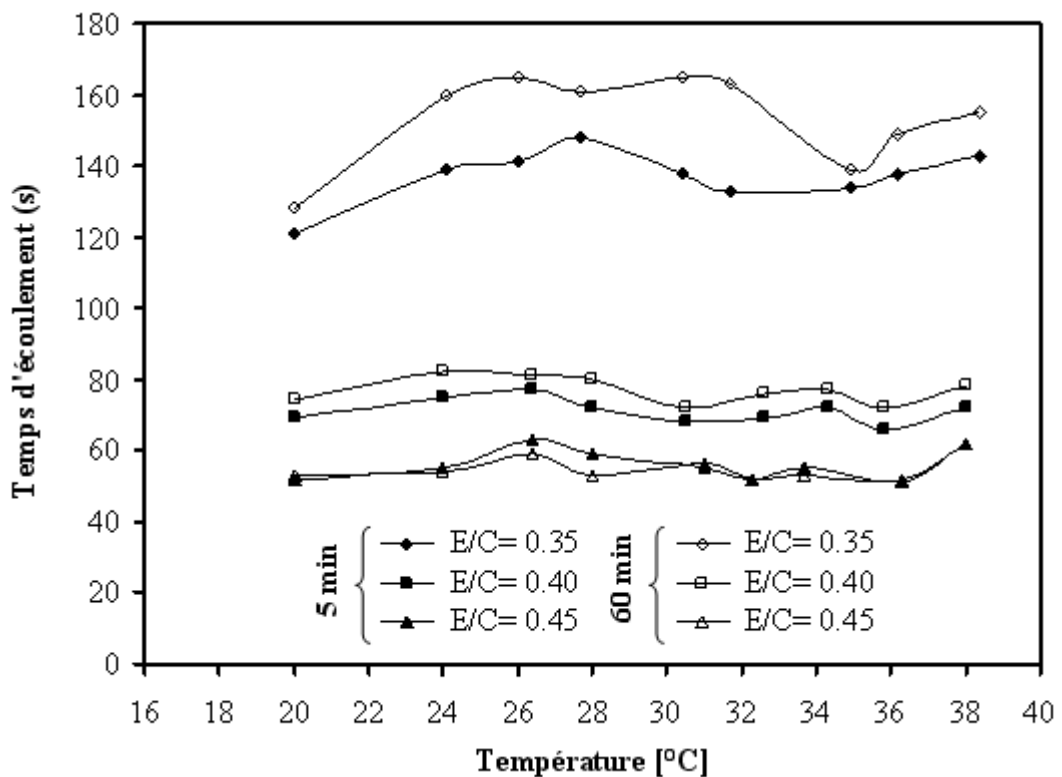
### 6.3.3. Compatibilité des coulis

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 6-13, 6-14, 6-15 et 6-16 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 6-2 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.

D'autre part, le superplastifiant SP2 reste incompatible avec les deux types de ciment avec une fluidité qui se dégrade avec l'élévation de température. Son cas d'incompatibilité est remarquable dès les premières minutes du contact avec de l'eau donnant lieu à une pâte durcie et une fluidité difficilement mesurable par le cône de Marsh. Sa présence avec le ciment C2 avec un rapport E/C de 0.45 a donné lieu à une amélioration de la compatibilité avec un écart de perte décroissant avec l'élévation de température.

**Tableau 6-2 : 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
Zahana C2	SP1	Compatible	Compatible	Compatible
	SP2	Incompatible	Incompatible	Intermédiaire (T>35°C)



**Figure 6-13:** Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C1-SP1)



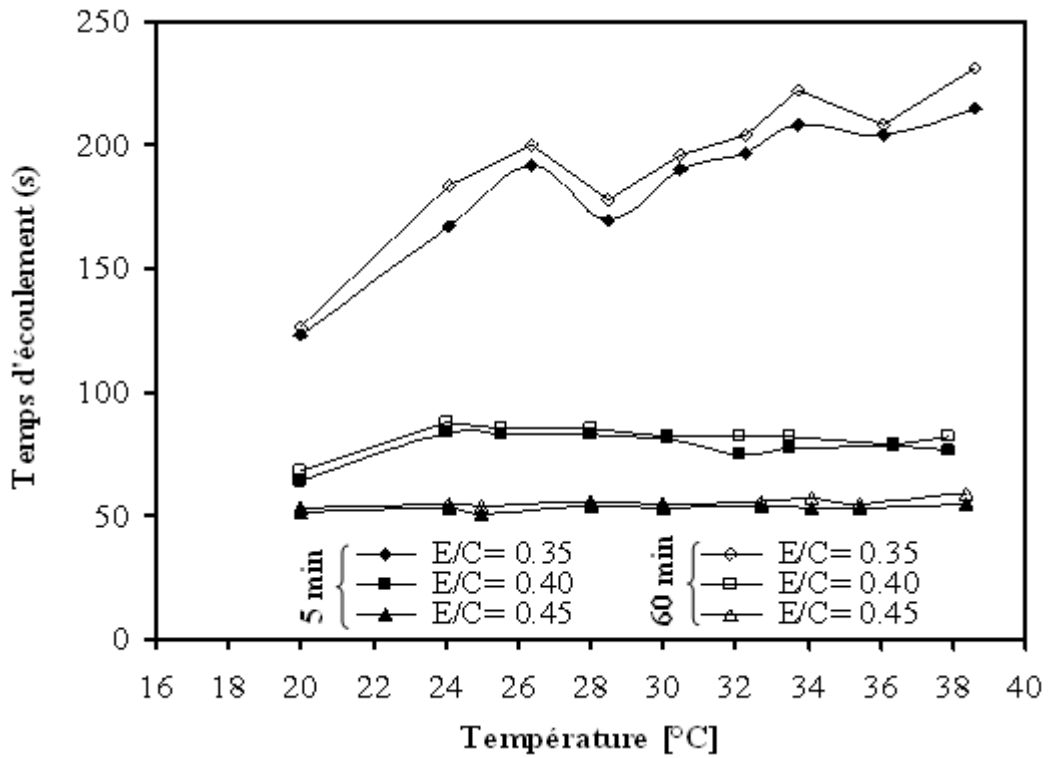


Figure 6-14: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C2-SP1)

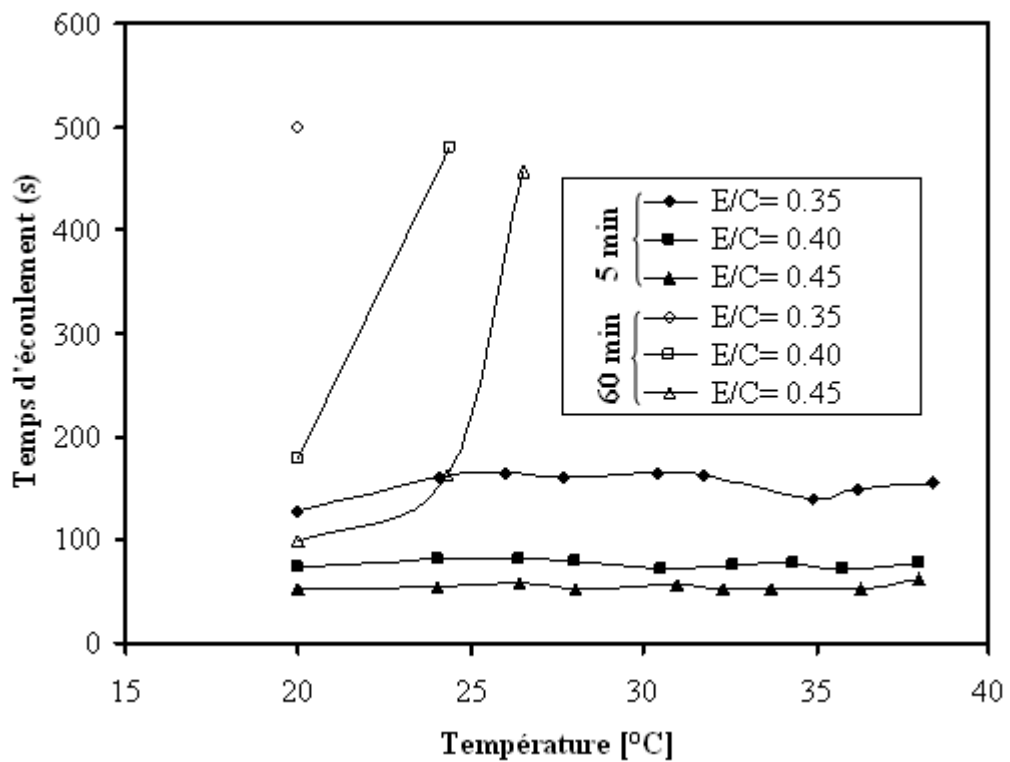
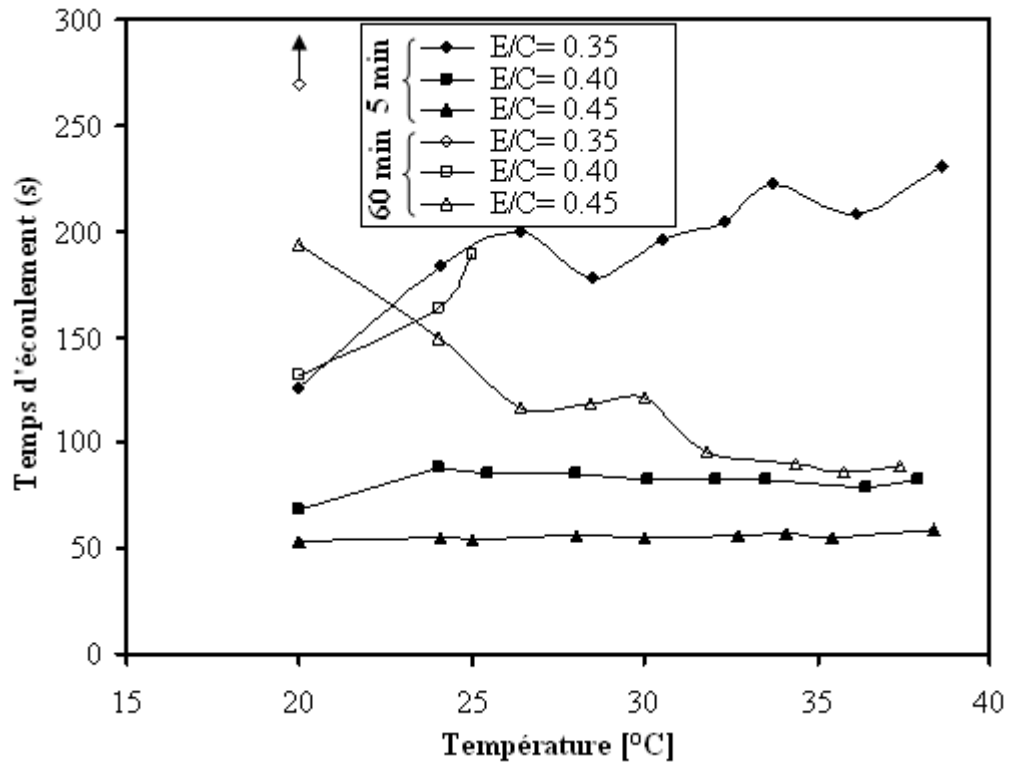


Figure 6-15: Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C1-SP2)



**Figure 6-16:** Temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes pour différents rapports E/C en fonction de la température du coulis (C2-SP2)

#### 6.4. 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 [118, 119, 120] surtout pour des rapports E/C faibles. Les cas observés pour le ciment C1 et C2 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 [84, 92, 93], 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.

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 et en particulier avec le SP1.

## **6.5. Conclusion**

Cette étude a fait montré l'importance d'étudier le comportement des coulis, mortier et béton lorsque ils sont confectionnés dans un climat chaud. Il est bien montré que certains superplastifiants restent efficaces dans la plage des températures journalières et donnent des pâtes fluides moins influencées par l'élévation de température. Le SP1 a bien conservé sa compatibilité avec les deux types de ciment même si pour un E/C faible (E/C=0.35) il a fallu un peu plus temps pour faire vider le cône de Marsh. Le SP2 est totalement incompatible avec les deux types de ciment même sous certaines conditions de température et de E/C élevé une amélioration est nettement constatée. Ceci encourage les futurs chercheurs à faire plus d'effort pour lutter contre ces cas défavorables et de trouver les solutions selon les matériaux disponibles.

*Conclusions*  
*et*  
*Recommandations*

## *Conclusions générales et recommandations*

Cette recherche 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 :

1. L'utilisation de ces deux types 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.
2. 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.
3. La fluidité est élevée lorsque le superplastifiant à base de résines mélamines (PMS) est ajouté, surtout dans le cas du ciment C1 à base d'ajout calcaire. Cet effet est beaucoup moins sensible avec le superplastifiant à base de naphthalène sulfonate (PNS).
4. Lorsque on augmente le rapport E/C, l'effet du type de ciment disparaît et les différents résultats donne une fluidité presque identique indépendamment du dosage de superplastifiant.
5. A des rapports E/C faibles égaux à 0.35, les résultats montrent qu'on obtient une pâte durcie avec le superplastifiant SP2 quelque soit son dosage.
6. Le superplastifiant SP1 s'avère le mieux compatible avec les deux types de ciment. Par contre le superplastifiant SP2 présente une perte de fluidité à 60 minutes très importante et parfois se manifestant par une pâte durcie pour les faibles dosages et les faible valeurs de E/C.

7. La substitution de 2 % du gypse dans un ciment composé (ciment de zahana) contenant un dosage de 1.2 % de superplastifiant (SP2) peut diminuer la perte de fluidité à 60 minutes.
8. 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.
9. 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.
10. A des températures élevées, le SP1 a bien conservé sa compatibilité avec les deux types de ciment même pour un faible rapport E/C (E/C=0.35). Par contre le SP2 est totalement incompatible avec les deux types de ciment même sous certaines conditions de température et de E/C.
11. 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.

La présente étude nous a permis de déterminer les paramètres influençant les propriétés dispersantes des polymères. Cependant, le nombre de superplastifiants étudiés était limité et ne nous a pas permis de quantifier l'influence de ces paramètres. Il est souhaitable de continuer cette étude sur un plus grand échantillonnage de superplastifiants de façon à relier de manière quantitative ces paramètres aux propriétés dispersantes.

Les mesures d'adsorption en fonction de la température ont été effectuées sur les superplastifiants à base de résines mélamines (PMS) et les superplastifiant à base de naphthalène sulfonate (PNS). Il sera intéressant d'étudier l'effet de la température sur d'autres polymères qui conduisent à une connaissance plus quantitative des paramètres influençant les interactions.

D'autres paramètres d'essais peuvent être traités en utilisant d'autres additions minérales, d'autres ciments composés et des températures plus élevées (60°C). De plus,

d'autres propriétés doivent être testées telles que la porosité, la perméabilité et la résistance.

Il sera souhaitable d'étudier la fluidité en utilisant d'autres appareils tels que le rhéomètre pour comparer les résultats obtenus concernant la compatibilité entre les ciments et les superplastifiants.

Il sera bénéfique de faire une extension sur la rhéologie du béton et de tester la fiabilité de l'essai au cône de Marsh. Cela permet de cerner l'effet de la présence des granulats et de trouver les limites de cet essai et d'apporter des corrections utiles lors de son utilisation.

## Références bibliographiques

1. François, P., "*Adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciment*", thèse de doctorat à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2004, 320p.
2. NF EN 934-2 "*Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Définitions, exigences*", Avril 1998, 24p.
3. Cheikh-Zouaoui, M., "*Contribution à l'étude de la cinétique d'hydratation au jeune âge des bétons à hautes résistances*", thèse de doctorat de l'Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2008, 245 p.
4. Durabilité du béton, "*durabilité et réparation du béton*", Université de Sherbrooke, article d'internet, chap 2, pp 142-160.
5. Nicot Pierre, M., "*Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier*", thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 2008, 224 p.
6. Cédric, C., "*Etude des interactions entre les phases modèles représentatives d'un ciment portland et des superplastifiants du béton*", thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne -UFR des Sciences et Techniques, France, 2004, 222 p.
7. Anderson, P.J., Roy, D.M., Gaidis, J.M., "*The effect of adsorption of superplasticizer on the surface of cement*", Cement and Concrete Research, vol. 17, 1987, pp. 805-113.
8. Yoshika, K., Tazawa, E., Kawai, K., Enhota, T., "*Adsorption characteristics of superplasticizers on cement components minerals*", Cement and Concrete Research, vol. 32, 2002, pp. 1507-1513.
9. Uchikawa, H., Hanehara, S., Shirasaka, T., Sawaki, D., "*Effect of admixture on hydration of cement, adsorptive behaviour of admixture and fluidity and setting of fresh cement paste*", Cement and Concrete Research, vol. 22, 1992, pp. 1115-1129.
10. Burk, A.A., Gaidis, J. M., Rosenberg, A.M., "*Adsorption of naphthalene based superplasticizer on different cement*", Proceedings of the 2nd International Conference on Superplasticizers in Concrete, Editor: V.M. Malhotra, ACI SP-68, Ottawa, Canada, 1981, 23p.
11. Asakura, E., Yoshida, H., and Nakae, H., "*Influence of superplasticizer on fluidity of fresh cement paste with different clinker phase composition*", Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cements, New Delhi IV, 1992, pp. 570-576.
12. Nawa, T., Eguchi, H., "*Effect of cement characteristics on the fluidity of cement paste containing an organic admixture*", Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cements, vol. 4, 1992, pp 597-603.



13. Suzue, S., Okada, E., Hatorri, K., "*Adsorption behaviours of superplasticizers on cements (in Japanese)*", In 35th Annual Proceedings of Cement Association of Japan, 1981, pp 202-205.
14. Blank, B., Rossington, D R., Weinland JR, L.A., "*Adsorption of admixtures on portland cement*", Journal of American Ceramic Society, vol. 46, 1963, pp. 395-399.
15. Yoshika, K., Tazawa, E., Kawai, K., Enhota, T., "*Adsorption characteristics of superplasticizers on cement components minirals*", Cement and Concrete Research, vol. 32, 2002, pp. 1507-1513.
16. Boragafio, J.R., Macias, A., "*Rheological properties of cement pastes containing different organic dispersants* ", Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cements, New Delhi IV, 1992, pp.557-563.
17. Aitcin, P.C., "*High-performance concrete* ", published by E & FN Spon, 1998, pp. 186-187.
18. Aitcin, P.C., Sarkar, S.L., Ranc, R., Levy, C., "*A high silica modules cement for hight-performance concrete* ", In ceramic Transaction: Advances in cementitious Materials (ed.S.Mindess), vol. 16, 1991, pp. 103-120.
19. Hattori, K., "Concrete journal", Japan, vol.14 (3), 1976, pp.12-19.
20. Serdar, A., Halimi, A., Kambiz, R "*Effect of finess of cement on polynaphthalene sulfonate based superplasticizer- cement interaction*", Construction and building Materials, vol. 23, 2009, pp. 2402-2408.
21. Aitcin, P.C., Sarkar, S.L., Regoured, M., Volant, D., "*Retardation effect of superplasticizer on different cement fractions*". Cement and Concrete Research, vol. 17(6), 1987: pp. 995-999.
22. Saada R., Barrioulet M. et Legrand C., "*Influence des fluidifiants sur les caractéristiques rhéologique des pâtes de ciments fillerisés* ", Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, I.N.S.A.-U.P.S. de Toulouse, France, 1990, 91-105p.
23. Basile, F., Biagini, S., Ferrari, G., Colleparidi, M., "*Properties of cement mixes containing naphthalene sulfonated polymers of different molecular weight*", Proceedings of the 8th International Congress on the Chemistry of Cements, Rio de Janeiro, vol IV, 1986, pp 264-268.
24. Nawa, T., Eguchi, H., "*Effect of sulfate on adsorption behaviour of superplasticizer*", 43th CAJ Proceeding of Cement and Concrete, 1989a, pp 90-95.
25. Nawa, T., Eguchi, H., Fukaya,Y., "*Effect of alkali sulfate on the rheological behaviour of cemente paste containing a superplasticizer*", In Proceedings of the 3rd CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete,ACI,1989b,SP-119, pp. 405-424.
26. Ranc, R., "*Interaction entre les reducteur d'eau-plastifiants et les ciments*", Ciments, Bétonc, Platres, Chaux, vol. 782, 1990: pp. 19-21.

27. Jolicoeur, C., Simard, M.A., Aitcin, P.C., Baalbaki, M., "*Cement –superplasticizer compatibility in high-performance concrete: the role of sulfates*", Proceedings of 4th Semiannual Meeting of the Network of Centres of Excellence on high-performance Concrete, Toronto, 1992, pp 9-27.
28. Rollet, M., Levy, C., Cavailles, R., "*Evaluation of compatible-superplasticizer for the production of high-strength concrete*", Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cements, New Delhi, vol. V, 1992, pp 115-121.
29. Vernet, C., Noworyta, G., "*Interaction des adjuvants avec l'hydratation du C3A: point de vue chimique et rhéologique*", Journée Technique «les couples ciments/adjuvants», Technodes S.A., Guerville, 1992.
30. Tagnit-Hamou, A., Baalbaki, M., Aitcin, P.C., "*Calcium sulphate optimization in low water/cement ratio concretes for rheological properties*", Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cements, New Delhi, vol. V, 1992, pp 21-25.
31. Tagnit-Hamou, A., Aitcin, P.C., "*Cement and superplasticizer compatibility*", World Cement, 1993, pp 38-42.
32. Luke, K., Aitcin, P.C., "*Effect of superplasticizer on ettringite formation*", Advances in Cementitious Materials, American Ceramic Society, vol. 16, 1990, pp. 1042-1122.
33. Jiang, S., Kim, B.G., Aitcin, P.C. "*Importance of adequate soluble alkali content to ensure cement/superplasticizer compatibility*", Cement and Concrete Research, 1999, vol.29: p. 71-78.
34. Matsukawa, K., "*Quantitative analysis of interactions between portland cements and superplasticizers*", thèse de doctorat de l'Université Purdue, (U.S.A), 1991.
35. Kurdowski, W., "*Formation of syngenite during cement grinding*", Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cements, Paris, vol. II, 1980.
36. Chiocchio, G., and Paoilini, A.E., "*Optimum time for adding superplasticizers to portland cement pastes*", Cement and Concrete Research, vol. 15, 1985, pp. 901-908.
37. Ramachandran, V.S., "*Concrete admixtures handbook*", Noyes Publication, 1995, pp. 410-411.
38. Yen et al., "*Flow behaviour of high strength high-performance concrete, cement and concrete composites*", 1999, vol. 21, pp 413-424.
39. 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.
40. Aitcin, P.C., "*Les Superplastifiants : des Réducteurs d'eau pas comme les autres*" Recueil de conférences présentées à l'Université de Sherbrooke, 1990.

41. Flatt, R.J., Houst, Y.F., "A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizer", Cement and Concrete Research, 2001, vol. 31, pp 1169-1176.
42. Hu C., "Rhéologie des bétons fluides", Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Paris, France OA16, 1995, 203 p.
43. Sugamata, T., Hibino, M., Ouchi, M., Okamura, H "A study of particle dispersion effect of polycarboxylate-based superplasticizers", Transactions of the Japan Concrete Institute, 1999, vol.21, pp 7-14.
44. Malhotra, V. M. and Malanka, D., "Performance of Superplasticizers in Concrete" Laboratory Investigations—Part I. Intern. Symp. Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 1978, vol II, pp 673-707.
45. Lessard, M., "Using superplasticizers in high performance concretes", Proceedings conference, Sherbrooke, Canada, 1990, pp 65-83.
46. Uchikawa, H., "Importance of recent microstructural developments in cement and concrete ", Conference in tribute to Regourd, M.M., Sherbrooke, Canada, Concrete Canada 1994, 63p.
47. Anderson, P.J., Roy, D.M., "The effect of superplasticizer molecular weight on its adsorption on, and dispersion of cement ", Cement and Concrete Research, vol. 18, 1988, pp. 980-986.
48. Cunningham, J.C., Dury, B.L., Gregory, T., "Adsorption characteristics of sulfonated melamine formaldehyde condensates by high performance size exclusion chromatography ", Cement and Concrete Research, vol. 19 (6), 1989, pp. 919-928.
49. Sebok, T., "The effect of the molar parameters of sulfonated melamine and formaldehyde polycondensates on mortar properties ", Proceedings of the 8th International Congress on the Chemistry of Cements, Theme 2, vol III, 1986, pp 34-39.
50. Ferrari, G., Cerulli, T., Clemente, P., and Dragoni, M., "Adsorption of naphthalene sulfonate superplasticizer by cement particles through gel permeation chromatography ", In 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Rome, ACI, 1997, SP-173, pp 869-892.
51. Khorami, J., Aïtcin, P.-C., "Physiochemical characterization of superplasticizers", In 3rd CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Institute, Detroit, Michigan, U.S.A., 1989, SP-119, pp. 117-131.
52. Collepardi, M., Corradi, M., Valente, M., "Influence of polymerization of sulfonated naphthalene condensate and its interaction with cement", In 2nd CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Ottawa, 1981, SP-68, pp 485-498.
53. Yilmaz, V.T., Kindness, A., Glasser, F.P., "Determination of sulfonated naphthalene formaldehyde superplasticizer in cement: a new spectrofluorimetric method and

- assessment of the UVmethod* ", Cement and Concrete Research, vol. 22, 1992, pp. 663-670.
54. Pierre, A., Carouille, C., Lamarche, J.M., Foissy, A., Mercier, R., "*Adsorption d'un polycondensat d'acide naphthalene(PNS)et de formaldéhyde sur le dioxyde de Titane* ", Cement and Concrete Research, vol. 18, 1988, pp. 18-28.
55. Pierre, A., Lamarche, J.M., Foissy, A., Mercier, R., "*Adsorption d'un fluidifiant du ciment sur le carbonate de calcium*", Cement and Concrete Research, vol. 19, 1989, pp. 692-702.
56. Simard, M.A., Nkinamubanzi, P.C., Jolicoeur, C., Perraton, D., Aïtcin, P.C., "*Calorimetry, Rheology and Compressive strength of Superplasticized Cement Pastes* ". Cement and Concrete Research, 1993, vol.23: pp.939-950.
57. Baalbaki, M., "*Influence des interactions du couple ciment /adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons*" Thèse de doctorat ès sciences appliquées, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 1998, 166 p.
58. Rossington, D.R., Struble, L.J., "*Adsorption of high-range water reducing agents on selected portland cement phases and related materials*" , National Institute of Standards and Technology Report, Department of Commerce, 1989, NIS-TIR 89-4172.
59. Massazza, F., Costa, U., "*Effect of superplasticizer on the C3A hydration*", Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cements, Paris, vol. IV, 1980, pp: 529-534.
60. Ramachandran, V.S., "*Adsorption and hydration behavior of tricalcium aluminate – water and tricalcium aluminate – gypsum- water systems in the presence of superplasticizer* ", ACI Journal., 1983, 80: pp: 235-241.
61. Tadros, M.E., Jackson, W.Y., Skalny, J., "*Study of the dissolution and electrokinetic behavior of tricalcium aluminate, in colloid and interface science*" , ed Kevker M, 1976.
62. Zelwer, A., (1980), "*Propriétés électrocinétiques à la surface des minéraux du ciment portland* ", Proceedings of 7th Intl. Conf. of Cements, Paris, vol. 2, 1980, pp.147-152.
63. Ramachandran, V.S., Malhotra, V.M., Jolicoeur, C., Spiratos, N "*Superplasticizer properties and applications in concrete*", CANMET, Ottawa, Canada, 1998.pp.
64. [http://www.dailymotion.com/video/x6s8ia\\_les-superplastifiants-la-magie-du-b\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/x6s8ia_les-superplastifiants-la-magie-du-b_tech)
65. Jolicoeur, C., Simard, M.A., "*Chemical admixture-cement interaction: phenomenology and physico-chemical concepts*", Cement and Concrete Composites, vol 20, 1998, pp. 87-101.
66. Jolicoeur, C., Nkinamubanzi, P.C., Simard, M.A., Piotte, M., "*Progress in understanding the functional properties of superplasticizer in fresh concrete*", In 4th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Montreal, 1994, SP 148-4, pp 63-88.

67. Uchikawa, H., "*Hydration of cement and structure formation and properties of cement paste in the presence of organic admixture*", Conference in tribute to Regourd, M.M, Edited by Concrete Canada, Faculty of Applied Science, Université de Sherbrooke, Canada, 1994, 55p.
68. Baussant, J.B., "*Nouvelle méthode de la formation d'hydrates des ciments- Application à l'analyse de l'effet d'adjuvants organiques*", Thèse de Doctorat, Université Franche-Comité, France, 1990, n° 156, 194p.
69. Fernon, V., "*Étude de nouveaux solides lamellaire obtenus par corécipitation d'hydrate aluminocalcique et de sulfonate aromatique*", Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France, 1994, 233p.
70. Daimon, M., Roy, D.M., "*Rheological properties of cement mixes: methods preliminary experiments and adsorption studies*", Cement and Concrete Research, vol. 8, 1978, pp. 753-764.
71. Daimon, M., Roy, D.M., "*Rheological properties of cement mixes: ii. Zeta potential and preliminary viscosity studies*", Cement and Concrete Research, vol. 9, 1979, pp. 103-110.
72. Otis, N., "*Influence de divers superplastifiants sur le ressuage et l'interface pâte/granulat dans les matériaux cimentaires*", Faculté des Sciences Université de Sherbrouke, Québec, Canada, 2000, 112p.
73. Chong-, Z.L, Nai, Q.F., Yong, D.L, Rong, J.C., "*Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers* ", Cement and Concrete Research, vol. 35, 2005, pp. 867-873.
74. 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, pp. 17-27.
75. Banfill, P.F.G., A Discussion of the Papers "*Rheological properties of cement mixes*", By Daimon, and Roy, Cement and Concrete Research, vol. 9, 1979, pp. 795-796.
76. Uchikawa, H., Hanehara, H., Sawaki, D., "*The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particules in fresh paste prepared with organic admixture*", Cement and Concrete Research, vol. 27(1), 1997, pp. 37-50.
77. Leroux, F., Gachon J., and Besse J.-P., "*Biopolymer immobilization during the crystalline growth of layered double hydroxide*", Journal of Solid State Chemistry, 2004. 177(1): p. 245-250.
78. Plank, J., Z. Dai, and P.R. Andres, "*Preparation and characterization of new Ca-Alpolycarboxylate layered double hydroxides*", Materials Letters, 2006. 60(29-30): pp. 3614-3617.
79. Henning, O., Goretzki, I., "*Effect of plasticizers on the degree of hydration*", RILEM Int.Conf. Concrete at Early age, Assn.Amicales des ingénieur, Paris, 1982, 151-155p.

80. Kim, B.-J., "*The adsorption behavior of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste*", Cement and Concrete Research, vol. 30, 2000, pp. 887-893.
81. Page, M., A. Moldovan, and N. Spiratos "*Performance of novel naphthalene-based copolymer as superplasticizer for concrete*", in Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. Proceedings Sixth International Conference CANMET. 2000. Nice, France: ACI International.
82. Bonen, D.Sarkar, S.L., "*The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss*". Cement and Concrete Research, vol. 25(7), 1995: pp. 1423-1434.
83. Young, J.F., "*A Review of the mechanism of set-retardation in Portland cement pastes containing organic admixtures* ", Cement and Concrete Research, vol. 2, 1972, pp. 415-433.
84. Hekal, E.E. and E.A. Kishar, "*Effect of sodium salt of naphthalene-formaldehyde polycondensate on ettringite formation*", Cement and Concrete Research, vol. 29, 1999, pp. 1535-1540.
85. Afridi, M.U.K., Chaudhary, Z.U., Demura, K., Iqbal, M. Z. "*Effects of polymer modification on the formation of high sulfoaluminate or ettringite-type AFt crystals in polymer-modified mortars*", Cement and Concrete Research, vol. 24(8), 1994, pp. 1492-1494.
86. Sakai, E., Raina, K. Asaga, K., Goto, S., Kondo R., "*Influence of sodium aromatic sulphonates in the hydration of tricalcium aluminate with or without gypsum*" Cement and Concrete Research, vol. 10(3), 1980, p. 311-319.
87. Odler, I. and T. Becker, "*Effect of some liquifying agents on properties and hydration of Portland cement and tricalcium silicate pastes*", Cement and Concrete Research, vol. 10(3), 1980, pp 321-331.
88. Collepardi, M., Manosi, M., Mariconi, G., "*Combined effect of lignosulfonate and carbonate on pure Portland clinker compounds hydration*", Cement and Concrete Research, vol. 10(3), 1980, pp. 455-462.
89. Fernon, V., et al. "*Interaction between portland cement hydrates and polynaphthalene sulfonates*", In 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Rome, 1997, pp 225-248.
90. 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.
91. 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.

92. Gabrysiak, F., – Matériaux – Les bétons – Chapitre 4. pages 5.
93. 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.
94. 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.
95. Ammar, Y., "*Rhéologie et performance des coulis de ciment destinés à la consolidation structurale d'ouvrages submergés*" Thèse de doctorat ès sciences appliquées (Ph.D), Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 1997, 208 p.
96. Victor, F.A., Ignasi, C., "*Influence of mixing sequence and superplasticizer dosage on the rheological response of cement pastes at different temperatures*", Cement and Concrete Research, 2010, vol. 32, pp. 43-53.
97. 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.
98. Amathieu, L. "*Solubilité des sulfates de calcium semihydratés en fonction du pH et de la température et du procédé de cuisson*". Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux, 1991, pp. 101-106.
99. Gallucci, E., Zhang, X., Scrivener, K., "*Influence de la température sur le développement microstructural des bétons*", Septième édition des journées scientifiques du regroupement francophone pour la formation sur le béton, Toulouse, France, 2006.
100. Khayat, K.H., Yahia, A., "*Effect of welan gum-high-range water reducer*", Combination on Rheology of Cement Grouts, ACI Materials journal, 1997, 23p.
101. Faury, J., "*Le béton. Influence de ses constituants inertes*", Dunod, Paris, 1958.
102. Baron J., "*La nécessité d'une démarche pragmatique: idée de maniabilité et sa mise en pratique*", (dans « Le béton hydraulique, connaissance et pratique »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1982.
103. Dreux G., Festa J., "*Nouveau guide du béton et de ses constituants*", Huitième Edition, Eyrolles, Paris, 1998, 411p.
104. NF P 18-452, Bétons. Mesure du temps d'écoulement des bétons et mortiers aux maniabilimètres, 1988.
105. EN 206-1 Béton -Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité, Avril 2004, 95p.
106. NF P 18-305, bétons prêt à l'emploi, 1996, 48p.
107. Chiara, F., "*Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report*", Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 1999, vol. 104: pp. 461-478.

108. Larrard, F., " Structures granulaires et formulation des bétons", Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 2000, Paris.
109. XP P 18-303. Normalisation française: Eau de gâchage pour béton. Août 1999. 16 p.
110. EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments détermination des résistances mécaniques, mai 1990, 24p.
111. Catherine, F.M., " *Etude de matériaux à base de liant hydraulique contenant des polluants organiques modèles : propriétés structurales et de transfert*" Thèse de doctorat, Ecole Doctorale de Chimie, Lyon, France, 2003, 268 p.
112. Djezzar, M., " *Contribution à l'étude de la compatibilité ciment –superplastifiant dans les béton à hautes performances* " Thèse de Magister, Centre Universitaire de Chlef, Algérie, 1998, 133 p.
113. Reknes, " *Reduction of viscosity concrete with modified lignosulphonate*", 1999, Proceedings of the 1st international RILEM Symposium, Stockholm, pp 473-484.
114. Lothenbach, B., Gllucci, E., Scrivener, K., " *Influence of limestone on the hydration of Portland cements*", Cement and Concrete Research, 2008, vol. 38, pp. 848-860.
115. Zhu, W., Gibbs, J.C., " *Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete* ", Cement and Concrete Research, vol. 35, 2005, pp 1457-1462.
116. Amezanianpour, A., " *Engineering properties and morphology of pozzolanic cement-concrete*", Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Leeds, 1987, 348 p.
117. Benmounah, A., Kheribet. R., Samar. M., Saidi. M., " *Comportement rhéologique des pâtes cimentaires destinées aux bétons autoplaçants* ", Revue Nature et technologie, 2009, pp.74-88.
118. 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.
119. 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.
120. 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.



# MEDAFLUID 40

Conforme à la norme EN 934-2

Plastifiant – réducteur d'eau

## DESCRIPTION

Le **MEDAFLUID 40** est un plastifiant réducteur d'eau. Il est compatible avec tous les types de ciment.

## CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... Marron
- pH ..... 8 / 9
- Densité ..... 1,19 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec..... 40 %

## PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés physico-chimiques, le **MEDAFLUID 40** permet :

Sur béton frais :

- de diminuer le rapport E/C
- d'augmenter le slump
- de faciliter la mise en œuvre du béton
- d'éviter la ségrégation

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'augmenter la compacité
- d'augmenter l'imperméabilité
- d'augmenter la durabilité
- d'éviter la formation de nids d'abeilles

Résistances mécaniques en compression (béton dosé à 350 kg/m<sup>3</sup>. E/C=0.42. Aff=11cm)

Désignation	Rc (MPa)	
	7J	28J
Témoin	22,5	28,0
<b>MEDAFLUID 40 (1,5%)</b>	28,5	36,30

## DOMAINES D'APPLICATION

Le **MEDAFLUID 40** est recommandé pour la confection des bétons suivants :

- Béton prêt à l'emploi
- Béton pompé sans forme de ségrégation
- Béton de masse
- Béton préfabriqué
- Fabrication de dalles et pré-dalles

## DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,8 à 2,0% du poids de ciment. Soit 0,7 l à 1,7 l d'adjuvant par 100 kg de ciment.

Des dosages supérieurs à 1,5% du poids de ciment (soit 1,2 l d'adjuvant par 100kg de ciment) permettent d'obtenir un retard de début de prise du ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLUID 40** peut être ajouté dans la bétonnière à la confection du béton ou dans les camions malaxeurs :

a) Dans la bétonnière il s'ajoute dans la deuxième partie de l'eau de gâchage et doit être suivi d'un malaxage d'environ 2 minutes.

b) Dans le camion malaxeur, le **MEDAFLUID 40** est introduit dans la toupe à l'arrêt et malaxé à grande vitesse pendant environ 1 minute par mètre cube de béton.

Ne pas ajouter le **MEDAFLUID 40** sur le béton sec.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



## MEDAFLUID 40

### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLUID 40** est conditionné en bidons de 12 et 24 kg, et fûts de 265 kg.

La température dans l'entrepôt de stockage doit être comprise entre 5°C et 35°C.

Si le produit a gelé, le dégeler à 20°C et le remuer jusqu'à ce qu'il retrouve ses propriétés initiales.

Délai de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

### PRECAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex.dz](http://www.granitex.dz)

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Janvier 2007

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



**Granitex**  
قرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex.dz](http://www.granitex.dz) - E-mail: [granitex@granitex.dz](mailto:granitex@granitex.dz)



## NOTICE TECHNIQUE

2 1 3 6

**MEDAPLAST SP 40**

Superplastifiant - Haut réducteur d'eau / Conforme à la norme EN 934-2

**DESCRIPTION**

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

**CARACTERISTIQUES**

- Forme.....Liquide
- Couleur.....Marron
- PH.....8,2
- Densité..... 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore..... < 1g/L

**PROPRIETES ET EFFETS**

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

**Sur béton frais :**

- d'améliorer la fluidité
- d'augmenter la maniabilité
- de réduire l'eau de gâchage
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

**Sur béton durci :**

- d'augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait

**DOMAINES D'APPLICATION**

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto-plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Coulis d'injection

**DOSAGE**

Plage de dosage recommandée :

0,6 à 2,5% du poids de ciment  
Soit 0,5 l à 2 l par 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

**MODE D'EMPLOI**

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

**CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidon de 12 et 25 Kg et en fût de 270 kg.

**Délai de conservation :**

12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

**ESSAIS DE LABORATOIRE**

Compte rendu d'essais conformes aux normes établi par le CNERIB en Juin 2005.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils sont donnés à titre indicatif. Il appartient au client de s'assurer que le produit convient à l'utilisation envisagée.

**Granitex**

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél: 213 (0) 21 51 66 81 / 82 Fax: 213 (0) 21 51 64 22 / (0) 21 51 65 23

Site Web: www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz