

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI  
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

N° d'ordre : .....

N° de série : .....

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MAGISTER EN GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX

INTITULE :

Utilisation des adjuvants super-plastifiants pour l'amélioration  
des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons

Présenté par :

Berrah Fatima Zahra

Soutenu le : 20/11/2013

Devant le jury :

Président : Dr. Khiari Abdelkader    Professeur    Université : Oum El Bouaghi

Rapporteur : Dr. Boudchicha Abdelaziz    MC/A    Université : Oum El Bouaghi

Examineur : Dr. Benmalek Med Larbi    Professeur    Université : Guelma

Examineur : Dr. Boudaoud Zeineddine    MC/A    Université : Oum El Bouaghi

## Remerciements

A mon encadreur le docteur Boudchicha d'avoir été patient, de m'avoir soutenue et qui a su me faire partager son savoir-faire et sa rigueur scientifique. Merci pour ses encouragements et son soutien moral dans les moments les plus difficiles de la réalisation de la thèse.

Aux membres de jury pour avoir sacrifié de leur temps, accepté d'examiner cette thèse et d'honorer par leur présence le jury de soutenance.

Je remercie tous mes professeurs et en particulier notre chef de département de Génie Civil

M<sup>r</sup> Gahmous.

Je remercie également mes parents, mes frères Mehdi et Med Karim, ma sœur Sihem et ma belle sœur Imène pour leur dévouement, leur aide et leur patience, et mon fiancé de m'avoir aidée, encouragée et soutenue dans les moments difficiles.

Je n'oublie pas de remercier aussi les membres du laboratoire LHCE de l'unité d'Oum El

Bouaghi qui n'ont jamais refusé de m'apporter leur soutien et leur aide

ainsi que ma copine Meriem.

A tous ceux qui ont contribué de près et de loin à l'élaboration de cette thèse.

ملخص:

للحصول على المقاومات على المدى القصير و المتوسط جيدة و التي تمكن تحريك الخرسانة المتسبقة التصنيع بدون تأثير سلبي على خصائصها على المدى الطويل، من الضروري معرفة متى تكون هذه المقاومة كافية في كل أجزاء العنصر حتى نستطيع إزالة القولية أو نقل الإجابات المسبقة، في أحسن الأجال الممكنة لكل أمان. للتمكن من هذه الأهداف، يجب للمختصين في الخرسانة التحكم في كل الأدوات التي تسمح لتسريع تصلب الخرسانة.

في هذه الدراسة، نقترح باستخدام ثلاث إضافات عالية اللدونة مختلفة الخصائص لمحاولة تحسين خصائص السيولة و الميكانيكية للخرسانة المسبقة التصنيع.

النتائج التي توصلنا إليها تبين أن طبيعة الإضافة تؤثر بصفة كبيرة على خصائص السيولة و كمية الماء اللازمة لكل المواد الإسمنتية مما يؤثر مباشرة على الخصائص الميكانيكية على المدى القصير و المتوسط (1' 2' 3' 7 و 28 يوم).

الخصائص المتحصل عليها أيضا تتعلق جدا بطبيعة الاسمنت المستعمل و خاصة تركيبته الكيميائية و المعدنية و خصائصه الفيزيائية.

**Résumé :**

Pour obtenir à court et très court termes des résistances qui permettent de manipuler les pièces en béton préfabriquées sans nuire à leurs propriétés à long terme, il devient donc très important de connaître quand la résistance du béton devient suffisante en toute partie de l'ouvrage pour procéder au décoffrage ou au transfert de la précontrainte le plus rapidement possible en toute sécurité.

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire pour les professionnels du béton de maîtriser les moyens qui permettent d'accélérer le durcissement du béton à court et très court termes.

Dans cette thèse de Magister, on propose donc d'utiliser trois adjuvants super-plastifiants de différentes natures pour essayer d'améliorer les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons destinés à la préfabrication.

Nos résultats montrent que la nature d'adjuvant influe beaucoup sur les propriétés rhéologiques des coulis, des pâtes, des mortiers et des bétons ce qui agit sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons à court et moyens termes (1, 2, 3, 7 et 28 jours).

Nos résultats montrent aussi que les performances obtenues dépendent également du type de ciment utilisé notamment de ses compositions chimiques, minéralogiques et physiques.

**Summary:**

For short and very short term of resistance that can manipulate concrete prefabricated without harming their properties in the long term, it becomes so very important to know when the strength of the concrete becomes sufficient in any part of the work to carry out removal or transfer of prestressing as quickly as possible safe.

To achieve these objectives, it is necessary for professionals in the concrete control means that accelerate the hardening of concrete short and very short term.

In this thesis of Magister, it is proposed to use three super plasticizers of different types to try to improve the rheological and mechanical properties of concretes for prefabrication.

Our results show that the nature of adjuvant affects many on the rheological properties of slurries, pastes, mortars and concretes which acts on the mechanical properties of mortars and concretes in the short and medium terms (1, 2, 3, 7 and 28 days).

Our results also show that performance results also depend on the type of cement used in particular physical, mineralogical and chemical compositions.

## SOMMAIRE

Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
 <b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Introduction.....	4
I-Description et rôles des adjuvants super-plastifiants hauts réducteurs d'eau.....	5
I-1. Définition et description .....	5
I-2. Classification et caractéristiques structurales .....	6
I-3. Avantages économiques et écologiques .....	7
II- Mode d'action des super-plastifiants .....	10
II-1. Adsorption des super-plastifiants sur les grains de ciment .....	10
II-2. La répulsion électrostatique .....	12
II-3. L'encombrement stérique .....	14
II-4. Effets rhéologiques .....	15
III-Influence des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques des bétons .....	17
IV- Influence des super-plastifiants sur l'hydratation des ciments .....	29
V- Influence des super-plastifiants sur les propriétés mécaniques .....	32
 <b>CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISEES ET DIFFERENTS ESSAIS EFFECTUES</b>	
Introduction .....	39
I- Matériaux utilisés .....	39
I-1.Ciment .....	39
I-1.1 Composition Chimique des ciments utilisés .....	39
I-1.2 Composition minéralogique des ciments utilisés .....	41
I-1.3 Finesse des ciments utilisés .....	42
I-2.Agrégats .....	45
I-3.Adjuvant .....	48

II- Les différents essais effectués .....	49
II-1. Les essais sur les coulis et pâtes de ciment .....	50
II-1-1. L'essai d'écoulement par le Cône de Marsh .....	50
II-1-2. L'essai de consistance normalisée par l'appareil de Vicat .....	51
II-1-3. L'essai de prise par l'appareil de Vicat .....	53
II-2. Les essais sur les mortiers .....	53
II-2-1. L'essai de consistance par la table à secousses .....	53
II-2-2. L'essai de compression des mortiers .....	55
II-3. Les essais sur les bétons .....	57
III- CONFECTION DES BETONS DE REFERENCE .....	59
<b>CHAPITRE III : ACTION DES SUPER-PLASTIFIANTS SUR LES PROPRIETES DES COULIS ET DES PATES DE CIMENT</b>	
I- Action des super-plastifiants sur les coulis de ciment .....	61
I-1. Introduction .....	61
I-2. Influence de la nature d'adjuvant sur l'écoulement des coulis .....	63
I-3. Influence de la nature et du dosage des adjuvants sur le maintien du temps d'écoulement .....	66
I-4. Influence de la nature de ciment sur la variation du temps d'écoulement .....	71
II- Les essais sur les pâtes de ciment .....	75
II-1. Temps de début de prise des pâtes avec adjuvants .....	75
II-2. Temps de fin de prise des pâtes avec adjuvants .....	77
II-3. Influence de la nature de ciment sur les temps de prise des pâtes à une consistance normalisée et sans adjuvants .....	79
II-4. Influence de la nature de ciment sur les temps de prise des pâtes à une consistance normalisée et avec adjuvants .....	80
III- Synthèse .....	83

**CHAPITRE IV : ACTIONS DES SUPER-PLASTIFIANTS SUR LES MORTIERS**

Introduction .....	85
I-Confection des mortiers de référence .....	85
II- Besoin en eau des mortiers avec adjuvants à même consistance .....	87
III-Influence de la nature de ciment sur le besoin en eau des mortiers avec adjuvants à même consistance .....	89
IV- Résistance en compression des mortiers de référence à même consistance .....	91
V-Résistances en compression des mortiers avec adjuvants à même consistance .....	93
VI-Influence de la nature de ciment sur les résistances en compression des mortiers avec adjuvants à même consistance .....	102
VII- Synthèse .....	110

**CHAPITRE V : EVOLUTION DES PROPRIETES MECANIQUES DES BETONS AVEC ADJUVANTS**

Introduction .....	112
I-Confection des bétons de référence .....	112
II-Besoin en eau des bétons avec adjuvants .....	115
III-Résistances en compression des bétons avec adjuvants .....	117
IV-Influence de la nature du ciment sur la résistance en compression des bétons avec adjuvants .....	120
V- Synthèse .....	125

**CONCLUSION GENERALE .....**127

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....**131

## Liste des figures

<b>Figure I.1 :</b> Exemple d'un lignosulfonate modifié .....	<b>6</b>
<b>Figure I.2 :</b> Représentation schématique d'une molécule d'un super-plastifiant à base de sels de sodium de poly-naphtalène sulfoné .....	<b>6</b>
<b>Figure I.3 :</b> Représentation schématique d'une molécule d'un super-plastifiant à base de poly mélamine sulfoné .....	<b>6</b>
<b>Figure I.4 :</b> Représentation schématique d'une molécule de poly carboxylate, PC, avec R : CH <sub>3</sub> .....	<b>7</b>
<b>Figure I.5 :</b> Double couche électrochimique d'une particule colloïdale positivement chargée et évolution du potentiel électrostatique .....	<b>11</b>
<b>Figure I.6 :</b> Évolution du potentiel lors de l'adsorption de super-plastifiants de type polysulfonate .....	<b>12</b>
<b>Figure I.7 :</b> Dispersion des grains de ciment par la répulsion électrostatique .....	<b>13</b>
<b>Figure I.8 :</b> Dispersion des grains de ciment par l'encombrement stérique .....	<b>14</b>
<b>Figure I.9 :</b> Évolution du potentiel lors de l'adsorption de super-plastifiants de type Poly carboxylate .....	<b>14</b>
<b>Figure I.10 :</b> Effet des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment .....	<b>15</b>
<b>Figure I.11:</b> Efficacité des différents super-plastifiants avec un ciment donné et influence sur la perte d'affaissement du béton dans le temps .....	<b>17</b>
<b>Figure I.12:</b> Influence de la nature du ciment sur l'affaissement au cône d'Abrams pour des bétons avec super-plastifiants .....	<b>18</b>
<b>Figure I.13 :</b> Influence de l'instant d'introduction d'un Super-plastifiant sur son efficacité et sur l'évolution de l'affaissement au cours du temps .....	<b>19</b>
<b>Figure I.14 :</b> Relation contrainte de cisaillement – rapport de cisaillement des pâtes de ciment avec 1 % de super-plastifiant MFS (a) et NFS (b), à différents temps d'introduction .....	<b>20</b>
<b>Figure I.15 :</b> Représentation schématique de la section transversale d'un grain de ciment hydraté montrant la distribution inégale d'un polymère sur sa surface .....	<b>21</b>
<b>Figure I.16 :</b> Variation du temps d'écoulement avec un rapport E/C=0.4 et pour deux types de ciments composés .....	<b>22</b>
<b>Figure I.17 :</b> Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de super-plastifiants (Ciment de Chlef, E/C=0.4) .....	<b>22</b>

<b>Figure I.18 :</b> Variation du besoin en eau des mortiers de référence C1 et C2 sans additions à même consistance en fonction de la quantité d'adjuvants super-plastifiants SP1 et SP2 .....	23
<b>Figure I.19 :</b> Réduction du besoin en eau par les adjuvants super-plastifiants SP1 et SP2, dans les mortiers de référence C1 et C2 sans additions à même quantité d'eau .....	24
<b>Figure I.20:</b> Evolution de l'affaissement d'un BHP à base de deux types de ciment en fonction du temps pour 3 super-plastifiants différents .....	25
<b>Figure I.21 :</b> Résultats d'adsorption pour les ciments C et D .....	26
<b>Figure I.22 :</b> Influence du rapport E/C et le dosage en super-plastifiant à bases de poly carboxylate (a) et naphthalène (b), sur les propriétés rhéologiques des mortiers après 50min du début du malaxage .....	27
<b>Figure I.23 :</b> Variation de l'affaissement, densité du mélange frais et volume d'air occlus en fonction de la teneur en super-plastifiant et de la teneur en eau .....	28
<b>Figure I.24 :</b> Evolution microstructurale du béton .....	29
<b>Figure I.25 :</b> Degré d'hydratation de l'alite et du C3A et volume des pores dans un ciment portland avec différents types de super-plastifiants .....	30
<b>Figure I.26 :</b> Mécanismes de dispersions des super-plastifiants traditionnels et nouveaux .....	31
<b>Figure I.27 :</b> Influence du dosage en ciment sur les résistances en compression à courts termes d'un béton .....	32
<b>Figure I.28:</b> Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes .....	33
<b>Figure I.29 :</b> Influence du rapport E/C sur les résistances en compression d'un béton .....	34
<b>Figure I.30 :</b> Influence du rapport E/C sur les résistances en compression à jeunes âges d'un béton .....	34
<b>Figure I.31:</b> Gain en résistance en fonction de la quantité de super-plastifiant pour trois types de ciment .....	35
<b>Figure I.32 :</b> Evolution de la résistance des mortiers témoins avec super-plastifiant en fonction du temps sous deux modes de conservation .....	35
<b>Figure I.33:</b> Variation of the superplasticizer demand for mortars C1-SP1 and C2-SP1 with admixtures with the same workability, according to the rate of the cement substitution .....	36
<b>Figure I.34:</b> Influence du type de ciment sur les résistances en compression à courts termes d'un béton .....	37

<b>Figure II.1</b> : Diffraction par rayon x (fluorescence x) .....	<b>40</b>
<b>Figure II.2</b> : Tamis électrique .....	<b>43</b>
<b>Figure II.3</b> : Appareil Blaine .....	<b>44</b>
<b>Figure II.4</b> : malaxeur .....	<b>50</b>
<b>Figure II.5</b> : Dimension du cône de Marsh (cône d'écoulement) .....	<b>51</b>
<b>Figure II.6</b> : Appareil de Vicat pour la mesure de la consistance .....	<b>52</b>
<b>Figure II.7</b> : appareil de Vicat pour la mesure de début et fin de prise .....	<b>53</b>
<b>Figure II.8</b> : Mesure de l'étalement pour les mortiers à l'état frais .....	<b>55</b>
<b>Figure II.9</b> : Table à chocs .....	<b>55</b>
<b>Figure II.10</b> : Une chambre humide .....	<b>56</b>
<b>Figure II.11</b> : une machine de compression .....	<b>56</b>
<b>Figure II.12</b> : Mesure de l'affaissement par le cône d'Abrams .....	<b>57</b>
<b>Figure III.1</b> : Variation du temps d'écoulement des coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant pour les super-plastifiants SP1, SP2, SP3 .....	<b>64</b>
<b>Figure III.2</b> : Variation du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant pour les adjuvants SP1, SP2, SP3 .....	<b>65</b>
<b>Figure III.3</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP1 .....	<b>66</b>
<b>Figure III.4</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP2 .....	<b>67</b>
<b>Figure III.5</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP3 .....	<b>68</b>
<b>Figure III.6</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP1 .....	<b>69</b>
<b>Figure III.7</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP2 .....	<b>70</b>
<b>Figure III.8</b> : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP3 .....	<b>70</b>
<b>Figure III.9</b> : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP1 .....	<b>72</b>
<b>Figure III.10</b> : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP2 .....	<b>73</b>

<b>Figure III.11</b> : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP3 .....	74
<b>Figure III.12</b> : Variation des temps de début de prise pour les pâtes à base de C1 en fonction de la nature d'adjuvant .....	75
<b>Figure III.13</b> : Variation des temps de début de prise pour les pâtes à base de C2 en fonction de la nature d'adjuvant .....	76
<b>Figure III.14</b> : Variation des temps de fin de prise pour les pâtes à base de C1 en fonction de la nature d'adjuvant .....	77
<b>Figure III.15</b> : Variation des temps de fin de prise pour les pâtes à base de C2 en fonction de la nature d'adjuvant .....	78
<b>Figure III.16</b> : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes sans adjuvants en fonction de la nature du ciment .....	79
<b>Figure III.17</b> : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP1 .....	80
<b>Figure III.18</b> : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP2 .....	81
<b>Figure III.19</b> : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP3 .....	82
<b>Figure IV.1</b> : Besoin en eau des mortiers de référence C1 et C2 .....	86
<b>Figure IV.2</b> : Variation du besoin en eau du mortier à base de ciment C1 à même consistance en fonction de la nature et du dosage en adjuvant .....	88
<b>Figure IV.3</b> : Variation du besoin en eau du mortier à base de ciment C2 à même consistance en fonction de la nature et du dosage en adjuvant .....	88
<b>Figure IV.4</b> : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP1 .....	89
<b>Figure IV.5</b> : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP2 .....	90
<b>Figure IV.6</b> : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP3 .....	90
<b>Figure IV.7</b> : Evolution des résistances des mortiers de référence à même consistance .....	92
<b>Figure IV.8</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 0.9% à même consistance .....	94
<b>Figure IV.9</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.2% à même consistance .....	95

<b>Figure IV.10</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.5% à même consistance .....	<b>96</b>
<b>Figure IV.11</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 2% à même consistance .....	<b>97</b>
<b>Figure IV.12</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 0.9% à même consistance .....	<b>99</b>
<b>Figure IV.13</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.2% à même consistance .....	<b>99</b>
<b>Figure IV.14</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.5% à même consistance .....	<b>100</b>
<b>Figure IV.15</b> : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 2% à même consistance .....	<b>100</b>
<b>Figure IV.16</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP1 .....	<b>102</b>
<b>Figure IV.17</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP2 .....	<b>103</b>
<b>Figure IV.18</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP3 .....	<b>103</b>
<b>Figure IV.19</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP1 .....	<b>104</b>
<b>Figure IV.20</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP2 .....	<b>105</b>
<b>Figure IV.21</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP3 .....	<b>105</b>
<b>Figure IV.22</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP1 .....	<b>105</b>
<b>Figure IV.23</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP2 .....	<b>106</b>
<b>Figure IV.24</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP3 .....	<b>106</b>
<b>Figure IV.25</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP1 .....	<b>107</b>
<b>Figure IV.26</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP2 .....	<b>107</b>
<b>Figure IV.27</b> : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP3 .....	<b>108</b>

<b>Figure V.1</b> : Variation du besoin en eau des deux bétons de référence à même consistance .....	<b>113</b>
<b>Figure V.2</b> : Variation des résistances en compression des bétons de référence à même consistance .....	<b>114</b>
<b>Figure V.3</b> : Variation du besoin en eau du béton à base du ciment C1 en fonction de la nature d'adjuvant à même consistance .....	<b>115</b>
<b>Figure V.4</b> : Variation du besoin en eau du béton à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant à même consistance .....	<b>116</b>
<b>Figure V.5</b> : Evolution des résistances en compression des bétons B1 avec adjuvants à même consistance .....	<b>117</b>
<b>Figure V.6</b> : Evolution des résistances en compression des bétons B2 avec super-plastifiants à même consistance .....	<b>118</b>
<b>Figure V.7</b> : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP1 .....	<b>120</b>
<b>Figure V.8</b> : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP2 .....	<b>122</b>
<b>Figure V.9</b> : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP3 .....	<b>123</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I-1</b> : Réduction d'eau pour les différents super-plastifiants .....	<b>9</b>
<b>Tableau I-2</b> : La résistance à la compression et la flexion des différents mortiers à 7 et 28 jours.....	<b>38</b>
<b>Tableau II.1</b> : Les compositions chimiques des ciments C1 et C2.....	<b>41</b>
<b>Tableau II.2</b> : Formules de Bogue .....	<b>41</b>
<b>Tableau II.3</b> : Les compositions minéralogiques du Clinker de C1 et C2 selon Bogue.....	<b>42</b>
<b>Tableau II.4</b> : Module de finesse des ciments C1 et C2.....	<b>43</b>
<b>Tableau II.5</b> : Finesse Blaine des ciments C1 et C2.....	<b>45</b>
<b>Tableau II.6</b> : Granulométrie du sable 0/5.....	<b>46</b>
<b>Tableau II.7</b> : Granulométrie du gravier 5/8.....	<b>46</b>
<b>Tableau II.8</b> : Granulométrie du gravier 8/15.....	<b>46</b>
<b>Tableau II.9</b> : Caractéristique des granulats utilisés.....	<b>47</b>
<b>Tableau II.10</b> : Caractéristiques physiques et mécaniques de la roche.....	<b>48</b>
<b>Tableau II.11</b> : Caractéristiques des adjuvants SP1, SP2 et SP3.....	<b>48</b>
<b>Tableau II.12</b> : Compositions des bétons de référence à bases des ciments C1 et C2.....	<b>60</b>
<b>Tableau III.1</b> : Temps d'écoulement $t_0$ des coulis de ciments.....	<b>62</b>
<b>Tableau III.2</b> : Temps d'écoulement $t_0+15\text{min}$ des coulis de ciments.....	<b>62</b>
<b>Tableau III.3</b> : Temps d'écoulement $t_0+30\text{min}$ des coulis de ciments.....	<b>63</b>
<b>Tableau III.4</b> : le temps d'écoulement des coulis C1 avec différents adjuvants .....	<b>63</b>
<b>Tableau III.5</b> : le temps d'écoulement du coulis à base du C2 avec différents adjuvants.....	<b>65</b>
<b>Tableau III.6</b> : Variation du temps de début de prise des pâtes P1 à base du ciment C1 en fonction de la nature d'adjuvant.....	<b>75</b>
<b>Tableau III.7</b> : Variation du temps de début de prise des pâtes P2 à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant.....	<b>76</b>
<b>Tableau III.8</b> : Variation du temps de fin de prise des pâtes P1 à base du ciment C1 en fonction de la nature d'adjuvant.....	<b>77</b>
<b>Tableau III.9</b> : Variation du temps de fin de prise des pâtes P2 à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant.....	<b>78</b>
<b>Tableau III.10</b> : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et sans ajout d'adjuvant.....	<b>79</b>

<b>Tableau III.11</b> : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP1 .....	<b>80</b>
<b>Tableau III.12</b> : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP2 .....	<b>81</b>
<b>Tableau III.13</b> : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP3 .....	<b>82</b>
<b>Tableau IV.1</b> : le besoin en eau des deux mortiers avec adjuvants à même consistance .....	<b>87</b>
<b>Tableau IV.2</b> : Evolution des résistances en compression des mortiers de référence .....	<b>91</b>
<b>Tableau IV.3</b> : Résistances en compression des mortiers M1 avec adjuvants à même consistance .....	<b>93</b>
<b>Tableau IV.4</b> : Résistances en compression des mortiers M2 avec adjuvants à même consistance .....	<b>98</b>
<b>Tableau V.1</b> : Besoins en eau et résistances en compression des bétons de référence .....	<b>113</b>
<b>Tableau V.2</b> : le besoin en eau des bétons B1 avec les trois adjuvants .....	<b>115</b>
<b>Tableau V.3</b> : le besoin en eau des bétons B2 avec différents adjuvants .....	<b>116</b>
<b>Tableau V.4</b> : Résistances en compression des bétons B1 B2 avec les trois types d'adjuvants .....	<b>117</b>
<b>Tableau V.5</b> : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1 et B2 avec l'adjuvant SP1 à même consistance .....	<b>120</b>
<b>Tableau V.6</b> : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1 et B2 avec l'adjuvant SP2 à même consistance .....	<b>122</b>
<b>Tableau V.7</b> : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1 et B2 avec l'adjuvant SP3 à même consistance .....	<b>123</b>

# INTRODUCTION GENERALE

Le béton hydraulique est formé d'une pâte fluide (Liant, eau, air occlus) enrobant des granulats. En général, la résistance du mélange ne dépendra que de la résistance de la pâte durcie qui évolue en fonction du temps et de la température ambiante.

Pour obtenir à court et très court terme des résistances qui permettent de manipuler les pièces en béton préfabriquées sans nuire à leurs propriétés à long terme, il devient donc très important pour une entreprise de construction de connaître quand la résistance du béton devient suffisante en toute partie de l'ouvrage pour procéder au décoffrage ou au transfert de la précontrainte le plus rapidement possible en toute sécurité.

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire pour les professionnels du béton de maîtriser les moyens qui permettent d'accélérer le durcissement du béton à court et très court terme.

Les travaux de recherche ayant travaillé sur le sujet estiment que l'amélioration de la résistance à très jeune âge devra passer par l'une ou la combinaison des solutions suivantes :

- L'emploi d'adjuvants accélérateurs de prise et de durcissement,
- La réduction de la quantité d'eau dans les mélanges par l'emploi d'adjuvants super-plastifiants
- L'emploi d'additions minérales,
- Le traitement thermique du béton.

Ce sujet s'inscrit dans un objectif global de recherche qui traite l'amélioration des propriétés à jeunes âges des bétons destinés à la préfabrication.

Le projet vise à améliorer le cycle de production d'un banc de préfabrication de poutres précontraintes installé à l'unité de préfabrication de GESI-PREFA, Telegma en maintenant les mêmes moyens installés, et en utilisant quelques techniques modernes se rapportant à la qualité des matériaux de base et à l'utilisation d'additions minérales et d'adjuvants.

L'équipe vise dans ce cas une application à finalité pratique et à enjeu économique pour répondre à un besoin technologique.

Dans cette thèse de Magister, on se propose donc d'utiliser des adjuvants super-plastifiants de différentes natures pour essayer d'améliorer les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons destinés à la préfabrication. Dans ce contexte, les apports physiques, ou chimiques des différents super-plastifiants seront évalués pour maîtriser leur utilisation dans l'industrie de la précontrainte en Algérie.

En proposant de travailler sur l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons destinés à la préfabrication, par l'introduction des adjuvants super-plastifiants de différentes natures, nous souhaitons contribuer à l'amélioration du procédé de production des poutres préfabriquées précontraintes et rentabiliser les moyens existants.

Outre la réponse aux besoins technologiques évidents, l'utilisation des additions minérales et des différents adjuvants dans les matériaux cimentaires constitue aussi un enjeu économique et un déficit scientifique pertinent.

Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu, l'approche du sujet sera essentiellement expérimentale. Les propriétés rhéologiques (écoulement et maniabilité), mécaniques (résistances mécaniques aux différents âges) pour les différents matériaux cimentaires (pâtes, mortiers et bétons) seront évalués par des essais conformes aux normes européennes NE.

Le sujet de recherche visera en premier lieu à mettre en application une méthodologie expérimentale adaptée, capable de dégager la liaison entre les propriétés des adjuvants (nature chimique, rôle et action) avec les modifications apportées sur les propriétés macroscopiques des mélanges cimentaires frais et durcis. L'action des adjuvants fluidifiants sera évaluée essentiellement par leur influence sur le couple consistance - quantité d'eau de gâchage ou d'adjuvant super plastifiant, et l'apport de ces adjuvants sur les résistances mécaniques à courts termes et moyens termes des bétons.

Afin de faciliter les issues pratiques de ce travail de recherche, la méthodologie choisie respectera les impératifs de préfabrication à savoir une consistance du mélange frais adaptée aux conditions de mise en œuvre ainsi que des résistances mécaniques du mélange durci garantissant la stabilité et la pérennité des éléments en béton précontraint à tout âge et toute phase de mise en œuvre.

Les résultats obtenus doivent, d'une part, déterminer le rôle à court terme des différents adjuvants sur la structure et les propriétés des bétons à courts termes et, d'autre part contribuer à l'amélioration du procédé de production de l'usine de préfabrication GESI PREFEA Teleghma.

Pour aboutir aux résultats escomptés, nous devrions suivre les étapes suivantes :

- Etude bibliographique sur l'influence des différents adjuvants super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des pâtes, mortiers et bétons.
- Caractérisation des propriétés physico-chimiques et minéralogique des matériaux utilisées.  
Pour cela, on utilisera trois types de super-plastifiants et deux types de ciments
- Mettre en application une méthodologie expérimentale adaptée afin d'évaluer l'apport des adjuvants utilisés sur les propriétés rhéologiques des coulis et pâtes de ciment en analysant les interactions avec les ciments utilisés.
- Application de la méthodologie d'essai défini précédemment pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques à court terme et moyens termes des mortiers.
- Validation des résultats obtenus pour les mortiers sur les bétons
- Analyse et commentaires.

## CHAPITRE I

### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### Introduction

Des années durant, la fabrication du béton n'a nécessité que des granulats, du ciment et de l'eau. Ce dernier composant remplit un double rôle : il permet l'hydratation du ciment pour assurer les résistances mécaniques du béton et confère au béton frais l'ouvrabilité nécessaire à sa mise en œuvre. Cette ouvrabilité nécessite cependant une quantité d'eau supérieure à ce qui est strictement nécessaire pour l'hydratation. Une partie de cette eau reste dans le béton au terme du processus de prise et de durcissement.

Cette eau se répand dans tout le béton et cause l'apparition d'un réseau de pores et de vides. L'augmentation de l'excédent en eau est proportionnelle au diamètre moyen des pores ainsi que de leur volume. Un nombre accru de pores de plus grandes dimensions affaiblit la structure du matériau et réduit dès lors la résistance du béton.

Nous observons donc un lien direct entre la résistance à la compression et l'eau de gâchage ajoutée au béton c.à.d, entre la résistance à la compression et le rapport entre la quantité d'eau et de ciment, que l'on appelle le rapport E/C. En fonction de l'augmentation ou de la diminution de ce rapport, la résistance du béton diminuera ou augmentera.

Ce constat n'est pas neuf. Dès 1894, le Français René Feret avait abouti à cette conclusion de manière empirique. L'augmentation de la résistance est cependant limitée. À partir d'un rapport eau-ciment trop faible, le béton ne peut plus être mis en œuvre. Les vides et les pores qui en résultent réduisent à nouveau la résistance, comme précisé dans l'illustration.

Cette exigence va donc engendrer une réduction de l'ouvrabilité et la problématique qui se posera doit concilier entre deux exigences contradictoires : réduire la quantité d'eau pour obtenir une résistance et une durabilité accrues, et ajouter de l'eau pour faciliter l'ouvrabilité. De nombreuses années ont été consacrées à la recherche d'une réponse à ces interrogations. La découverte des plastifiants – et, plus particulièrement, de super-plastifiants très puissants dans les années 1970 – a constitué un véritable tournant.

## I- Description et rôles des adjuvants super-plastifiants hauts réducteurs d'eau :

### **I-1. Définition et description :**

Un adjuvant super-plastifiant haut réducteur d'eau est un adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire fortement la teneur en eau d'un béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmente considérablement l'affaissement/l'étalement, ou qui produit les deux à la fois. [Norme NF EN 934-2]

Ces adjuvants doivent être conformes aux exigences du tableau 1 et aux exigences complémentaires des tableaux 3-1 et 3-2 [Norme NF EN 934-2].

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

Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvent dans le commerce sous forme de liquides. Certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur coût de transport (cas des chantiers à l'export). Dans ce cas il faut généralement les diluer avant l'emploi : la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est en effet moins certaine que celle d'un liquide.

Un adjuvant a, en général, une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement «effets secondaires». [1]

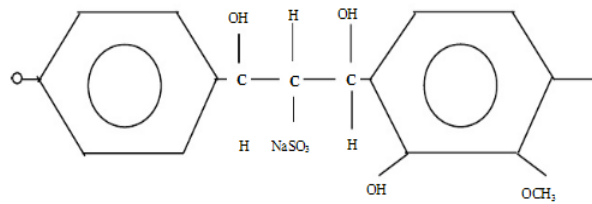
Un super-plastifiant haut réducteur d'eau est une désignation complexe, traduction de l'Anglais «Superplasticizers-High Range Water Reducers».

Ce sont des produits qui viennent se fixer par adsorption à la surface du ciment. Ils provoquent une défloculation des grains et une lubrification de la pâte. Ce processus permet soit une amélioration de la maniabilité sans augmenter le dosage en eau, soit une réduction du rapport E/C, donc une augmentation des résistances mécaniques, sans modifier la maniabilité.

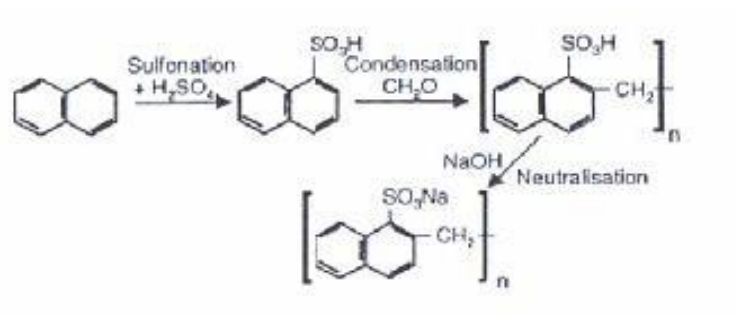
[1]

**I-2. Classification et caractéristiques structurales :**

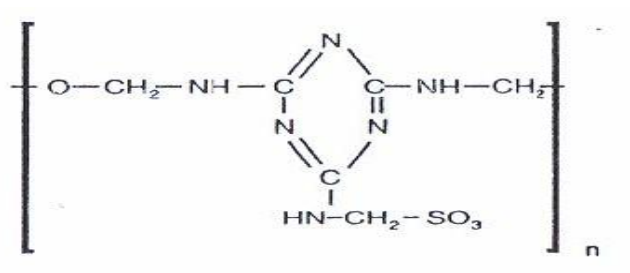
Les fabrications d'adjuvants utilisent un nombre restreint de polymères de base dans la formulation des super-plastifiants qu'ils commercialisent. Ce sont essentiellement des sels de sodium ou de calcium de polynaphtalène sulfoné, un sel de sodium d'une polyméline sulfonée ; des sels de sodium ou de calcium de lignosulfonate de grande pureté, des polyacrylates et des poly carboxylates, plus récemment. [2]



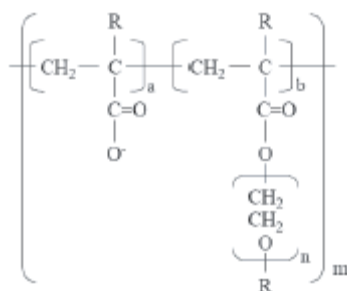
**Figure I.1 : Exemple d'un lignosulfonate modifié [3].**



**Figure I.2 : Représentation schématique d'une molécule d'un superplasticifiant à base de sels de sodium de poly-naphtalène sulfoné selon Rixom et Mailvaganam [4]**



**Figure I.3 : Représentation schématique d'une molécule d'un superplasticifiant à base de polyméline sulfoné selon Dodson, [5]**



**Figure I.4 : Représentation schématique d’une molécule de poly carboxylate, PC, selon Hasni.L avec R : CH3 [6]**

**I-3. Avantages économiques et écologiques :**

L’utilisation des super-plastifiants contribue, directement et indirectement, à la réduction des coûts économiques et environnementaux de la production des bétons. D’après Perche [7], les avantages obtenus sont les suivants :

**\*Réduction de la consommation d’eau :**

L’emploi de super plastifiant, lors de la fabrication d’un béton, permet de diminuer la quantité d’eau de gâchage nécessaire. Cette économie, qui peut aller jusqu’à 30 %, représente près de 300 millions de mètre cube d’eau par an [8]. Cette contribution directe peut se révéler décisive, dans les cas de construction d’ouvrage en béton dans les pays en voie de développement, où l’acheminement de l’eau est souvent problématique.

**\*Valorisation des coproduits industriels :**

Les lignosulfonates modifiés sont fabriqués à partir de produits résiduels de l’industrie du papier. La valorisation de ces coproduits industriels est ici directement liée à la production de super plastifiants.

D’une façon plus indirecte, d’autres matériaux ont pu être utilisés lors de la fabrication du béton grâce à l’essor des super plastifiants. Une partie du ciment est remplacé par des additions minérales, toutes produites dans une autre branche industrielle [8,9] : la fumée de silice provient de l’industrie du silicium, les cendres volantes sont filtrées des fumées de combustion des centrales thermiques, les laitiers de haut fourneau sont issus de la métallurgie de la fonte... Ces coproduits industriels n’auraient pas été aussi facilement valorisés en matériau de construction t sans les super plastifiants.

**\*Diminution des émissions de CO<sub>2</sub> :**

La consommation de ciment Portland est diminuée lorsqu'il y a substitution du ciment par des coproduits. Ainsi, les super-plastifiants participent indirectement à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> associées à la fabrication du ciment Portland. La production annuelle de ciment Portland se monte à 2 milliards de tonnes et répand à peu près la même quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Remplacer 20 % du ciment revient à abaisser de 200 millions de tonnes les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> [8]. Cependant, la fabrication des super-plastifiants engendre également une émission de CO<sub>2</sub>, laquelle ne doit pas être omise dans le bilan global.

**\*Économies d'énergie :**

Les super-plastifiants donnent lieu, indirectement, à une limitation de l'énergie consommée pour la fabrication du ciment (broyage, clinkérisation, etc.). En revanche, ils contribuent directement à diminuer les énergies dépensées pour la mise en œuvre du béton (malaxage, pompage, vibration) en lui conférant une fluidité élevée.

Les super-plastifiants apportent des avantages et des améliorations dans la majorité des secteurs de la production du béton. Ces matériaux seront donc vraisemblablement de plus en plus utilisés dans le futur. Une bonne compréhension des mécanismes d'interaction entre le ciment et ces polymères organiques est donc indispensable pour se prémunir des cas d'incompatibilité. En effet, les désagréments engendrés par ce type de situation peuvent se répercuter sur l'ensemble des utilisateurs du béton et ils sont donc à éviter.

Les super-plastifiants pouvant être introduits dans un béton afin d'augmenter sa fluidité ou de diminuer son rapport E/C sont nombreux et variés. Pour pouvoir exercer leur pouvoir dispersant, ces polymères doivent d'abord s'adsorber à la surface des grains et ensuite, selon leur nature et leur structure, produire une force répulsive de type électrostatique ou stérique. Le raidissement des mélanges cimentaires peut donc mettre en jeu soit un défaut de l'adsorption des super-plastifiants soit une neutralisation de la force répulsive. Dans les deux cas, le pouvoir fluidifiant disparaît et les systèmes voient se détériorer leurs propriétés rhéologiques.

L'emploi des super-plastifiants permet de nombreuses améliorations techniques et technologiques tout au long du processus de fabrication du béton [10]. La maniabilité élevée associée à une bonne cohésion du matériau facilite les différentes étapes de la mise en œuvre :

-Si la quantité d'eau n'est pas trop diminuée, le pompage du béton peut être réalisé avec des vitesses plus rapides, sur des distances plus longues et à des hauteurs plus élevées, tout en diminuant la pression de 20 à 30 %.

-La mise en place nécessite moins de vibrations, voire aucune dans le cas des bétons auto-compactants ou auto-plaçants, d'où une économie de temps, de main d'œuvre et de matériel.

-Le béton peut être placé dans des endroits difficiles d'accès grâce à sa grande fluidité obtenue, ce qui serait impossible avec un béton classique.

Des avantages sont aussi apportés sur le long terme :

-Les armatures sont parfaitement enrobées, même dans les éléments qui en possèdent un taux élevé, ce qui réduit considérablement les risques de corrosion.

-Les résistances mécaniques et la durabilité des bétons sont augmentées du fait de la faible porosité du matériau produit avec un volume réduit d'eau de gâchage. Les différents super-plastifiants présentent des performances différentes lorsqu'ils sont utilisés en présence d'un même ciment.

Les réductions d'eau moyennes et maximales attendues selon la nature des polymères dispersant sont présentées dans le tableau I-1. La supériorité des super-plastifiants de type poly carboxylate y apparaît clairement.

**Tableau I-1 : Réduction d'eau pour les différents super-plastifiants [11].**

Superplastifiant	Réduction d'eau (%)	
	Moyenne	Maximale
Lignosulfonate	5 – 15	20
PNS	10 – 25	30
PMS	10 – 25	30
Polycarboxylate	20 – 30	40

## **II- Mode d'action des super-plastifiants:**

Le pouvoir fluidifiant des super-plastifiants s'exerce par une combinaison de phénomènes physiques se produisant instantanément (à  $t = 0$ ) [12, 13]. Ces processus sont l'adsorption des super plastifiants, la répulsion électrostatique et l'encombrement stérique. La dispersion des particules de ciment par les super-plastifiants conduit à une évolution des propriétés rhéologiques des pâtes et mortiers de ciment.

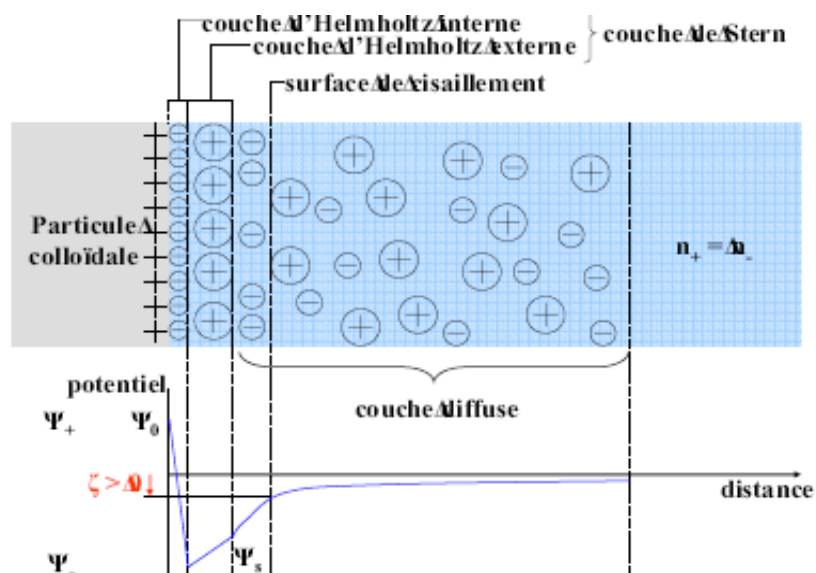
### **II-1. Adsorption des super-plastifiants sur les grains de ciment :**

L'étude de l'effet dispersant des super-plastifiants, menée par Flatt et al. [14] sur des suspensions modèles, a montré que seuls les super-plastifiants adsorbés contribuaient à la dispersion. Les molécules de super-plastifiant doivent d'abord s'adsorber à la surface des grains de ciment et, seulement après, elles peuvent exercer leur pouvoir fluidifiant.

Une pâte de ciment peut être envisagée comme une dispersion de particules colloïdales dans l'eau. La surface des grains de ciment porte des charges électriques, lesquelles ont pour origine des imperfections de la structure cristalline, des liaisons dissociées ou des ions adsorbés [15, 16]. Cette charge confère à la particule un potentiel de surface, appelé potentiel de Nernst et noté ' $\psi$ '. Les électrolytes, présents dans la phase aqueuse, vont alors former une couche autour de la particule afin de neutraliser ce potentiel électrostatique [17, 18] et stabiliser ainsi la dispersion. Cette couche est appelée la double couche électrochimique.

La structure de la double couche électrochimique est décrite ci-dessous d'après le modèle de Stern pour une particule portant une charge de surface positive. Elle est représentée de façon schématique à la figure (I.5).

La particule est entourée par une couche fixe de molécules d'eau et d'ions adsorbés sous l'effet de l'attraction électrostatique. Cette couche est appelée couche de Stern, elle se divise en deux couches distinctes : les couches d'Helmholtz interne et externe. La couche d'Helmholtz interne est formée d'anions non solvatés. La couche d'Helmholtz externe est constituée par une monocouche de cations solvatés. En raison de leur taille relativement importante, les ions ne peuvent pas neutraliser complètement la charge de la particule colloïdale. La compensation est réalisée au sein de la couche diffuse [20, 21]. Dans cette couche, les ions sont mobiles et leurs concentrations évoluent avec la distance, de telle façon qu'à la fin de la couche diffuse, l'électro neutralité est atteinte.



**Figure I.5 : Double couche électrochimique d’une particule colloïdale positivement chargée et évolution du potentiel électrostatique [19].**

Expérimentalement, la mesure directe du potentiel de surface des particules colloïdales est impossible. Par contre, il est possible de mesurer la différence existant entre le potentiel à la surface de cisaillement dans la couche diffuse et le potentiel de la solution. Cette différence de potentiel est appelée le potentiel [19]. L’adsorption des polymères organiques des super-plastifiants à la surface des grains de ciment repose sur l’attraction électrostatique entre les groupements anioniques de l’adjuvant ( $-\text{SO}_3^-$ ,  $-\text{COO}^-$ ) et les domaines positivement chargés de la double couche électrochimique.

Il s’agit ainsi d’un mécanisme de physisorption. Ce processus montre un plateau d’adsorption, lequel est appelé point de saturation de surface [22] et correspond grossièrement à la quantité de super-plastifiant permettant la fluidité optimale.

L’adsorption des super-plastifiants est influencée par les caractéristiques physicochimiques du ciment. Il a été rapporté que l’adsorption des polymères est meilleure lorsque la finesse du ciment est élevée [23]. Par ailleurs, les différentes phases cimentaires n’adsorbent pas les mêmes quantités de super plastifiant. Cela a pour origine les différents potentiels de ces composés. D’après Yoshioka et al. [24], les phases silicates, C3S et C2S, ont un potentiel négatif de l’ordre de -5 à -10 mV. Par contre, les phases aluminates, C3A et C4AF, ont un potentiel situé entre 5 et 10 mV. Les super-plastifiants négativement chargés ont donc une plus grande affinité pour les phases aluminates

En ce qui concerne le super plastifiant, les différents paramètres de sa structure chimique, groupement anionique, densité de charge et longueur des chaînes carbonées, ont des répercussions sur le processus d'adsorption ; elles sont décrites ci-dessous.

**\*Le groupement anionique :**

L'ancrage des polymères sur les grains de ciment a lieu par l'intermédiaire des groupements anioniques. Hirsch [25] rapporte, à ce sujet, que les groupements carboxylate s'adsorbent plus fortement que les groupements sulfonate.

**\*La densité de charges :**

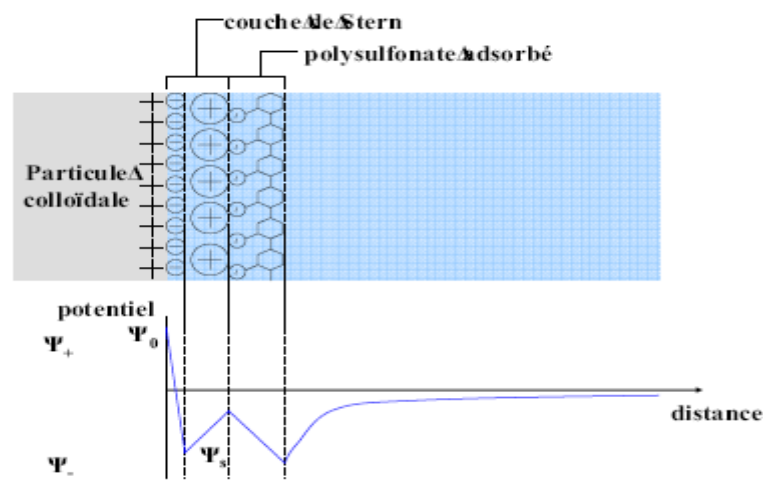
Plus le nombre de groupement chargé par molécule est important, meilleure est l'adsorption [26].

**\*La longueur des chaînes carbonées :**

D'après Blask [27], les polycarboxylates ayant une longue chaîne principale et de courtes chaînes secondaires présentent l'adsorption la plus importante. D'une part, le nombre de groupes —COO- augmente avec l'allongement de la chaîne principale et, d'autre part, l'encombrement stérique généré par les longues chaînes secondaires peut gêner l'adsorption.

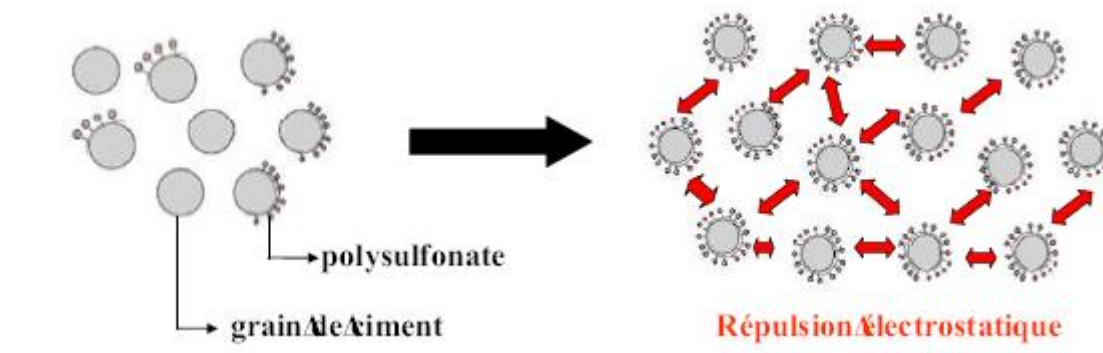
**II-2. La répulsion électrostatique :**

La dispersion engendrée par les super-plastifiants de type polysulfonate est majoritairement due à la répulsion électrostatique [10, 13, 28]. Les super-plastifiants s'adsorbent à la surface des particules de ciment par des interactions coulombiennes, des forces de Van der Waals ou des liaisons hydrogènes [25]. En se fixant sur les grains de ciment, les polymères anioniques changent la charge des particules de ciment, comme le montre la figure I.6.



**Figure I.6 : Évolution du potentiel lors de l'adsorption de super-plastifiants de type polysulfonate d'après [29]**

Entre chaque grain de ciment occupé par les polymères, une force répulsive se forme en raison des charges identiques. Cette force provoque une forte dispersion des particules et empêche ainsi la coagulation [30]. La dispersion des grains de ciment est représentée schématiquement figure (I.7).



**Figure I.7 : Dispersion des grains de ciment par la répulsion électrostatique. [30]**

Le potentiel (représente une valeur approchée de la force électrostatique et permet ainsi d'étudier la stabilité d'une suspension de ciment. Il a ainsi été avancé que l'intensité de la force répulsive est intimement liée à la structure moléculaire de l'adjuvant. Uchikawa et al.[26] ont montré de cette façon que plus le nombre de groupements anioniques est élevé, plus le potentiel ( est important et donc plus la répulsion est forte.

### **II-3. L'encombrement stérique :**

L'encombrement stérique est le type de répulsion créée par les super-plastifiants de type poly carboxylate [26]. Les polymères anioniques s'adsorbent à la surface des particules et les chaînes secondaires s'étendent aux alentours. Lors du rapprochement de deux grains de ciment, les couches d'adsorption des super-plastifiants se chevauchent. La densité de chaînes augmente et les molécules d'eau vont s'accumuler dans la solution. Cela a pour conséquence l'apparition d'une pression osmotique, laquelle maintient les particules séparées l'une de l'autre [25]. L'encombrement stérique apparaît dès que la distance entre les polymères adsorbés est inférieure à deux fois l'épaisseur des polymères [31].

L'encombrement stérique est donc une force purement répulsive, qui n'agit que si les molécules sont très proches [27]. La figure I.8 donne une représentation schématique de cette interaction dans une suspension de ciment.

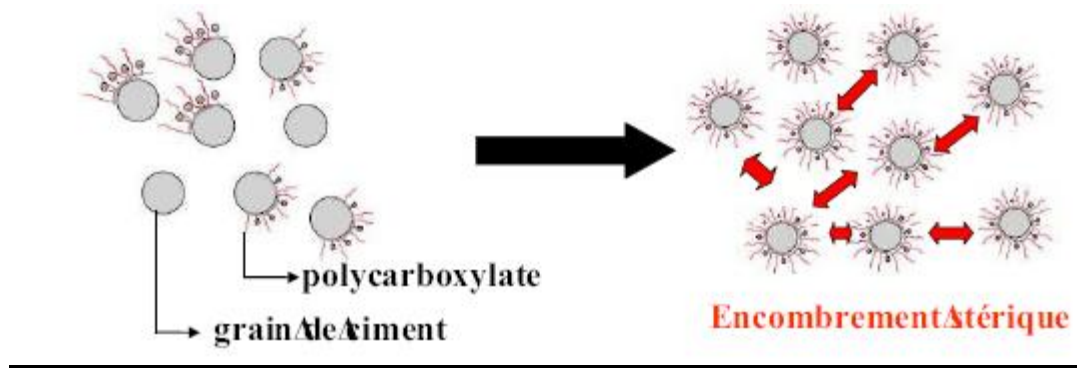


Figure I.8 : Dispersion des grains de ciment par l’encombrement stérique. [27]

Yamada et al. [32] ont fourni les premières indications expérimentales de l’effet stérique des poly carboxylates. Ils ont mené une étude comparative des potentiels (de pâtes de ciment contenant différents types de super plastifiant. Il est ainsi apparu qu’en présence de poly sulfonates, le potentiel est négatif, alors qu’avec des poly carboxylates, le potentiel est nul voire positif. Ces différences ont été expliquées par Plank et al. [29] à partir de la structure de la double couche électrochimique lors de l’adsorption de poly carboxylates. Une représentation est proposée à la figure (I.9).

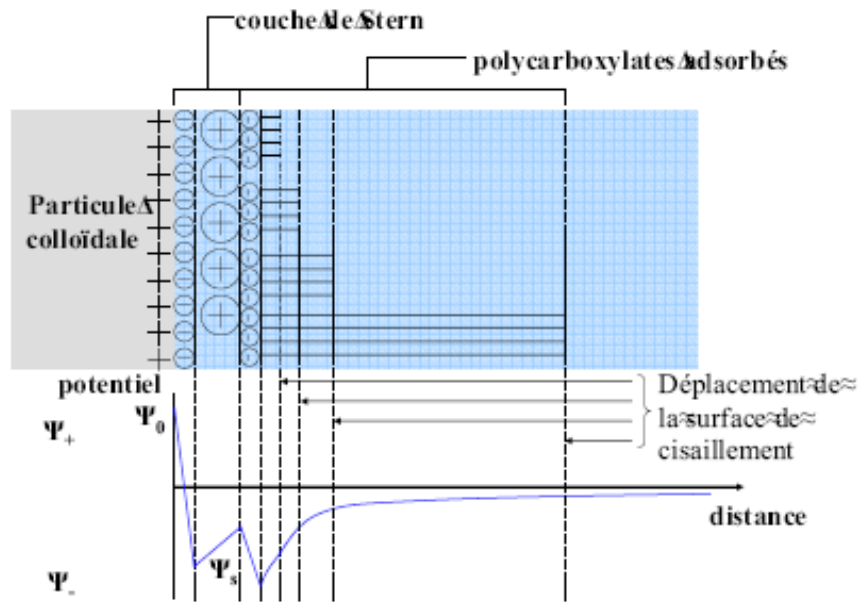


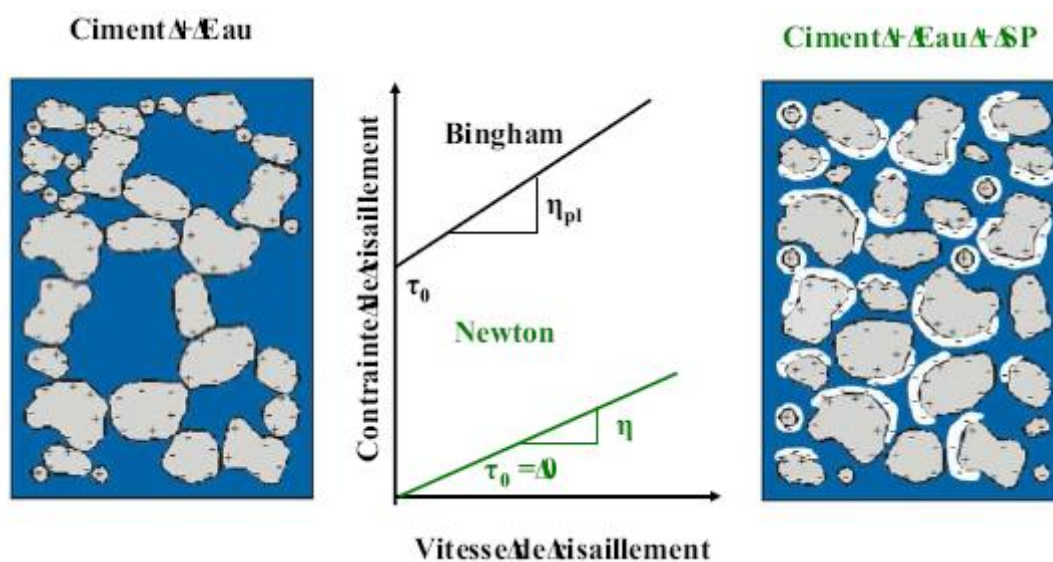
Figure I.9 : Évolution du potentiel lors de l’adsorption de super-plastifiants de type Poly-carboxylate (d’après Plank et al. [29]).

L’adsorption des super-plastifiants de type poly-carboxylate provoque un élargissement de la couche de diffusion et/ou un déplacement de la surface de cisaillement. Pour de courtes

chaînes secondaires, la répulsion engendrée est, dans ces conditions, semblable à celle créée par les poly sulfonates. Lorsque les chaînes secondaires s’allongent, le potentiel devient nul puis positif [29, 33]. Le potentiel fournit ainsi une évaluation approximative des proportions électrostatique et stérique dans la dispersion des poly-carboxylates [29]. Elles dépendent, par conséquent, de la longueur des chaînes secondaires et de la densité de charges anioniques de la chaîne principale [29, 33].

**II-4. Effets rhéologiques :**

En l’absence de super plastifiant, les particules de ciment s’agglomèrent en raison des charges opposées présentes à leur surface. Ce phénomène va se traduire par un seuil d’écoulement au niveau des propriétés rhéologiques. En présence de super plastifiant, les polymères organiques vont limiter l’agglomération des grains, ce qui aura pour conséquence une diminution voire une suppression du seuil d’écoulement [34]. De plus, lors de la dispersion des particules, la structure floculée va se dissoudre et l’eau retenue à l’intérieur va être libérée, de telle façon qu’elle pourra à nouveau contribuer à l’écoulement. La figure (I.10) reprend les effets des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques d’une pâte de ciment.



**Figure I.10 : Effet des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment [34].**

La structure des super-plastifiants de type poly-carboxylate a une influence décisive sur leur pouvoir fluidifiant. Les recherches de Yamada et al. [35] ont montré que de longues chaînes secondaires conduisent, en général, à une fluidité plus grande et à une diminution de la

viscosité plastique et du seuil d'écoulement. Par contre, un allongement de la chaîne principale a un effet négatif sur la fluidité. Il semble que ces effets s'expriment surtout pour de faibles rapports E/C.

Enfin, la concentration en super-plastifiant est déterminante en ce qui concerne la stabilité des mélanges cimentaires. En effet, au-delà d'une concentration critique, les particules de ciment et les granulats sédimentent en raison de l'absence de seuil d'écoulement [14].

Les super-plastifiants s'adsorbent à la surface des grains de ciment de la même manière quelle que soit leur nature. Par contre, la répulsion qu'ils engendrent une fois adsorbés diffère selon le type de polymère. Les super-plastifiants de type poly-sulfonate agissent par une interaction électrostatique et ceux de type poly-carboxylate par un encombrement stérique.

Dans les deux situations, la dispersion des particules se traduit par une amélioration des caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment. De nombreuses applications technologiques vont découler de cette propriété.

Donc, les différentes molécules font appel aux différents mécanismes de base pour disperser les grains de ciment ; par exemple, les poly naphthalène et poly mélamine sulfonés agissent surtout au niveau des forces de Van der Waals et de la force d'interaction de double couche, alors que les polyacrylates agissent principalement grâce à leur effet entropique. [2]

### III- Influence des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques des bétons :

Les super-plastifiants sont des dispersants qui fonctionnent sur le même principe que les plastifiants-réducteurs d'eau, mais d'une façon encore plus efficace, telle qu'il est possible, en principe, de dé-floculer complètement les grains. Ce sont des polymères de synthèse, fabriqués spécialement pour l'industrie du béton ; ils peuvent être utilisés à des dosages beaucoup plus élevés que les plastifiants-réducteurs d'eau, jusqu'à dix fois, avant de présenter les mêmes effets secondaires (retards de prise et entrainement d'air). Cependant, au fur et à mesure que l'on augmente leur dosage, ces mêmes effets secondaires commencent à se faire sentir. [36]

La principale action des molécules des super-plastifiants est de s'enrouler autour des grains de ciment et de leur conférer une charge hautement négative, de sorte qu'ils se repoussent les uns les autres, conduisant à une défloculation et à une dispersion des grains de ciment. L'amélioration de la maniabilité résultante peut être exploitée de deux façons : par la confection de bétons de très grande maniabilité ou de bétons à très haute résistance. [37]

Si on fait fixer la quantité d'eau, les adjuvants peuvent faire passer un béton d'une consistance ferme à une consistance plastique. Les super-plastifiants sont souvent utilisés pour obtenir une consistance fluide. [38]

L'efficacité de ces adjuvants dépend du produit utilisé, du dosage en adjuvant (figure I.11), des constituants du béton et notamment le ciment (fig I.12) ainsi que du moment d'introduction de l'adjuvant (figure I.13).

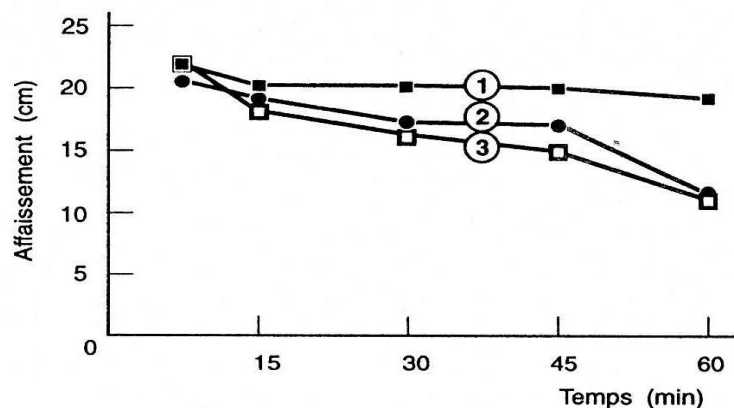


Figure I.11: Efficacité des différents super-plastifiants avec un ciment donné et influence sur la perte d'affaissement du béton dans le temps [38]

Les trois courbes correspondent à des bétons ayant une même composition ( $E=165 \text{ l/m}^3$  et  $C=400 \text{ kg/m}^3$ ) et différents dans la nature et la quantité des super plastifiants.

Le dosage initial a été fixé de telle sorte à obtenir le même affaissement initial (21 à 22 cm).

**On peut remarquer que:**

Les trois adjuvants n'ont pas la même efficacité: Le dosage en super-plastifiant exprimé en extrait sec par rapport à la masse du ciment est de 1.3 % pour le SP1 (courbe 1), 0.5 % pour le SP2 (courbe 2) et 0.75 pour le SP3 (courbe 3).

Le suivi de l'évolution de la consistance montre la perte d'affaissement est plus lente pour le béton avec SP2, le plus efficace. [38]

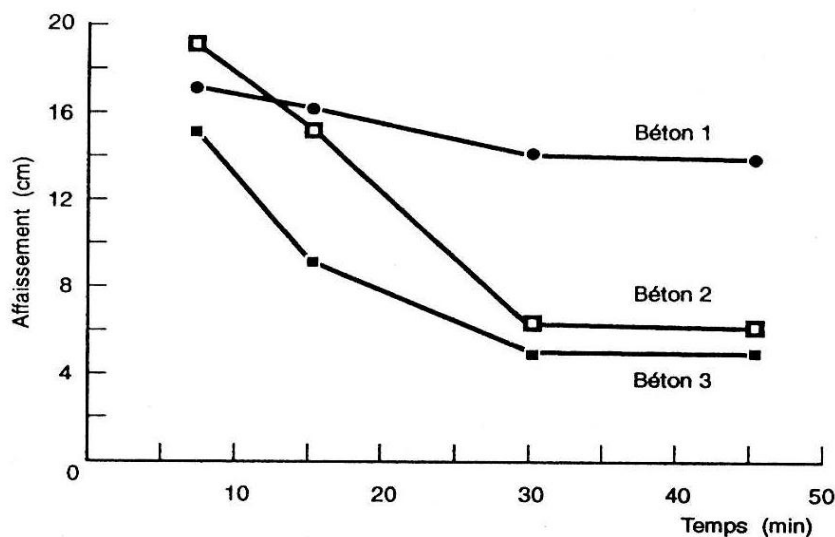
En étudiant l'influence de la nature du ciment sur l'affaissement au cône d'Abrams, on a effectué des bétons avec super plastifiant, ayant une même composition ( $E=185 \text{ l/m}^3$  et  $C=350 \text{ kg/m}^3$ ) mais différent dans l'origine du ciment CPJ-CEM II B 32.5 R. Le dosage initial en super-plastifiant a été fixé à 0.45 de la masse du ciment.

Après malaxage, les bétons sont laissés au repos sans agitation.

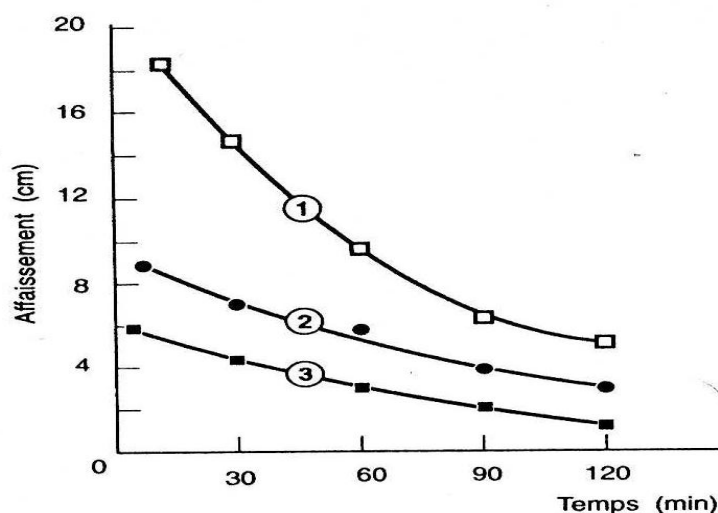
On peut remarquer que:

A la sortie du malaxeur, les bétons sont fluides.

30 minutes plus tard, le béton 1 est toujours fluide, alors que les deux autres sont plastiques. [38]



**Figure I.12: Influence de la nature du ciment sur l'affaissement au cône d'Abrams pour des bétons avec superplastifiants. [38]**



**Figure I.13 : Influence de l'instant d'introduction d'un Super-plastifiant sur son efficacité et sur l'évolution de l'affaissement au cours du temps [38]**

La courbe 3 représente un mortier sans super plastifiant.

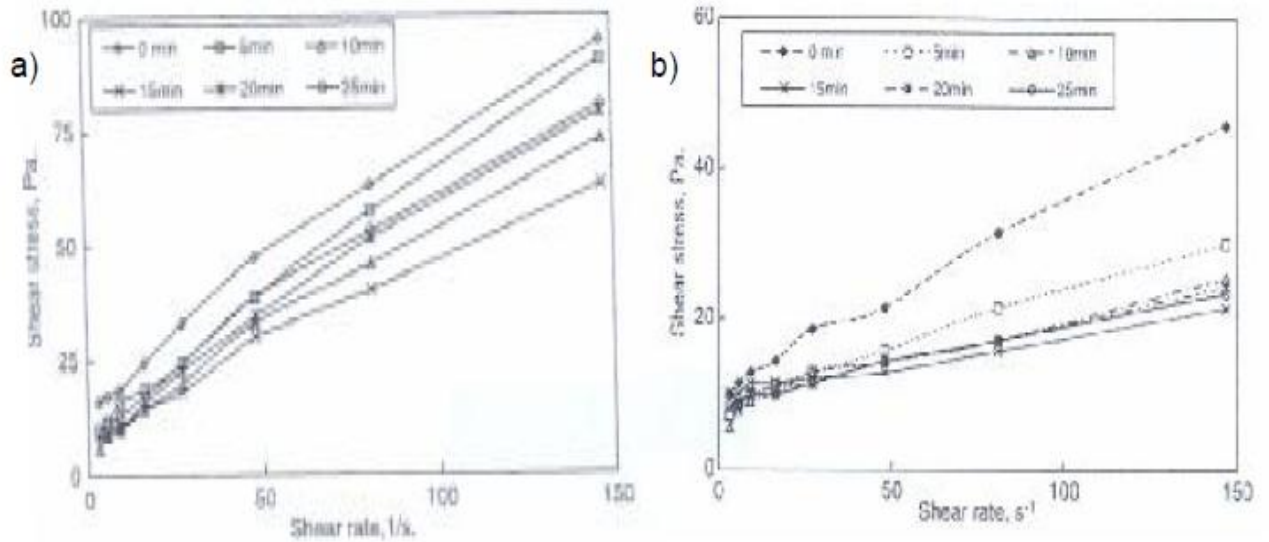
Dans le mortier de la courbe 1, le super-plastifiant est introduit en même temps que les autres constituants.

Dans le mortier de la courbe 2, le super-plastifiant est introduit 3 minutes plus tard que les autres constituants.

On peut remarquer que:

- A la sortie du malaxeur, Le mortier témoin est plastique.
- L'introduction de l'adjuvant avec l'eau, permet d'avoir un mortier fluide, alors que son introduction en décalage par rapport à l'eau est moins efficace.
- L'efficacité de l'introduction simultanée se réduit avec le temps. [38]

Ismail Aiad [41] a montré en étudiant l'influence du temps d'introduction des super-plastifiants sur les propriétés rhéologique des pâtes de ciment à l'état frais, que les super-plastifiants à base de naphtalène et de mélamine augmentent les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment à court et long termes et que la réduction de la contrainte d'écoulement et la viscosité plastique dépend de la composition du ciment et du temps d'introduction du super-plastifiant dont le temps optimal était de 10 à 15 min après le début du malaxage (figure I.14).



**Figure I.14 : Relation contrainte de cisaillement – rapport de cisaillement des pâtes de ciment avec 1 % de superplastifiant MFS (a) et NFS (b), à différents temps d'introduction, selon Aiad [41]**

*MFS : Superplastifiant à base de mélamine formaldéhyde condensé.*

*NFS : Superplastifiant à base de naphthalène formaldéhyde sulfonate.*

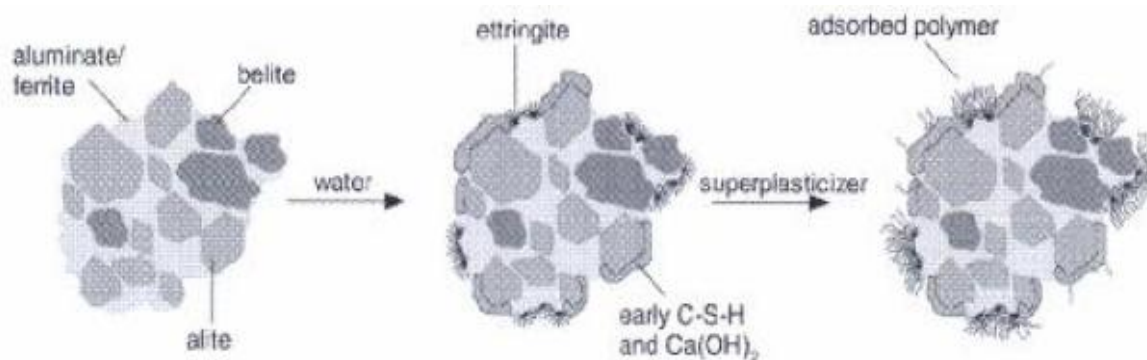
Pallièrre [39] a montré en étudiant l'influence de la finesse du ciment sur l'effet des fluidifiants, que ces fluidifiants agissent sur la fraction granulaire 5/20  $\mu\text{m}$  du ciment qui est principalement concernée par les phénomènes de floculation et défloculation.

En voulant connaître l'état de l'effet fluidifiant, Hanna & al [40] ont constaté que tout en étudiant le maintien de la maniabilité des pâtes de ciment contenant 1% et 2% de naphthalène que l'effet fluidifiant est plus faible quand l'état de la finesse Blaine du ciment est élevée.

Le phénomène de défloculation a un rapport direct avec la quantité de superplastifiant, c'est le résultat qui a été montré par Ramachandran [42] et qui résulte que plus la quantité de super-plastifiant est élevée, meilleur est l'effet dispersant.

Temkhajornkit et Nawa [43], ont prouvé en étudiant la fluidité des pâtes de ciment contenant un super-plastifiant à base de naphthalène sulfonaté, que l'introduction du super-plastifiant entraîne une réduction de la contrainte d'écoulement qui tend vers zéro, mais la plasticité ne diminue pas beaucoup. En outre, la pâte de ciment va avoir une bonne fluidité sans engendrer de ségrégations. Ils ont également avancé que lorsque le super-plastifiant est adsorbé à la surface des particules de ciment, il change le signe du potentiel zéta de la surface

des particules qui devient négatif et en augmente la valeur absolue [44]. Dans ce cas, les particules de ciment ayant le même signe du potentiel zéta, se repoussent électro statiquement. Plank et Hirsch [45], ont montré en étudiant l'impact du potentiel zéta sur l'adsorption des super-plastifiants pour l'hydratation des phases de ciment, qu'un potentiel zéta positif est nécessaire pour assurer une grande adsorption du super plastifiant.



**Figure I.15 : Représentation schématique de la section transversale d'un grain de ciment hydraté montrant la distribution inégale d'un polymère sur sa surface selon Plank et Hirsch [45]**

Par conséquent, l'adsorption des super-plastifiants sur un grain de ciment hydraté s'effectue à l'endroit de l'ettringite cristallisée avec un potentiel zéta positif, ce qui conduit à une structure de forme mosaïque du grain de ciment hydraté avec une distribution inégale des molécules du polymère (figure I.15).

Afin d'étudier la contribution des ajouts minéraux dans la compatibilité des ciments composés avec les super plastifiants, Hallal .A, Ezziane .K., Kadri .A., Kadri E.H [46] ont montré que la fluidité du coulis est très liée à la composition du ciment et du type de l'addition minérale présente dans sa composition. Ceci influe directement sur le choix du type de super-plastifiant le mieux adapté et qui confère la plus grande fluidité et la meilleure compatibilité au coulis. Le super-plastifiant Medaplast à base de résine mélamine entraîne une plus grande fluidité pour un faible dosage de saturation, contrairement au Médafluid qui offre un coulis moins fluide et plusieurs cas d'incompatibilité en présence de la pouzzolane. L'ajout du calcaire avec son activité de surface et sa neutralité chimique présente la meilleure fluidité pour le coulis de ciment, que ce soit comme un matériau de base du ciment ou en qualité d'ajout.

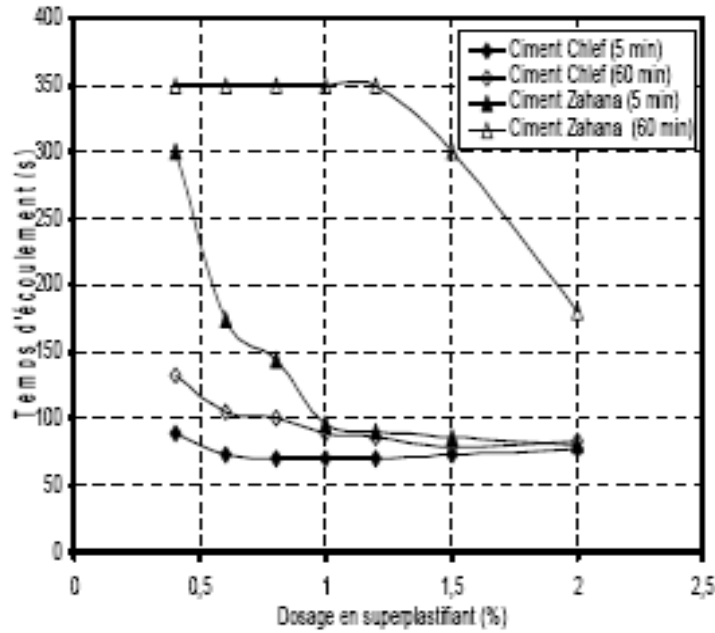


Figure I.16 : Variation du temps d'écoulement avec un rapport E/C=0.4 et pour deux types de ciments composés. [46]

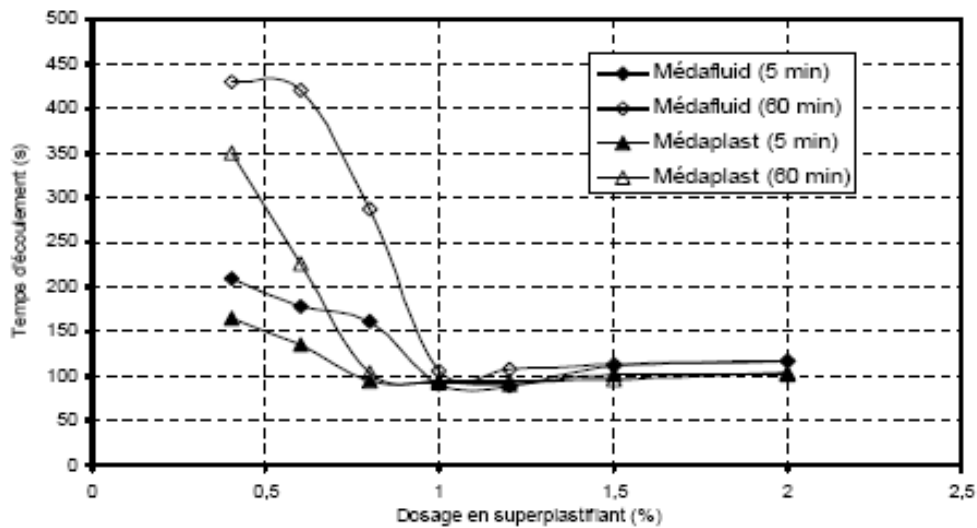


Figure I.17 : Variation du temps d'écoulement pour différents dosages de superplastifiants (Ciment de Chlef, E/C=0.4) [46]

Deux types de ciments : Le ciment de Chlef (CEM II 42.5) dont l'ajout est le calcaire, et le ciment de ZAHANA (CEM II 42.5) dont l'ajout est la pouzzolane naturelle.

Deux types de super-plastifiants : Médaplast (40) à base de résines mélamines ; et le Médafluid (40) à base de naphthalène sulfonate

A.Boudchicha [47] a montré en étudiant l’Action des additions et super-plastifiants sur les mortiers et les bétons, que :

- Les dosages de saturation sont atteints plus vite pour les mortiers de ciment à faible teneur en  $C_3A$ , pour les deux supe-plastifiants utilisés.
- L’efficacité du super-plastifiant dépend de la nature du ciment et elle est plus forte dans les mortiers à base de ciment à faible teneur en  $C_3A$ .

Types de ciments	C1 : CPJ-CEM II 42.5 de 8.33 de $C_3A$	C2 : CPA-CEM I ES 42.5, faible teneur en $C_3A$ de 2.82.
Types d’adjuvants	SP1 : SIKAFUID	SP2 : MEDAPLAST SP 40

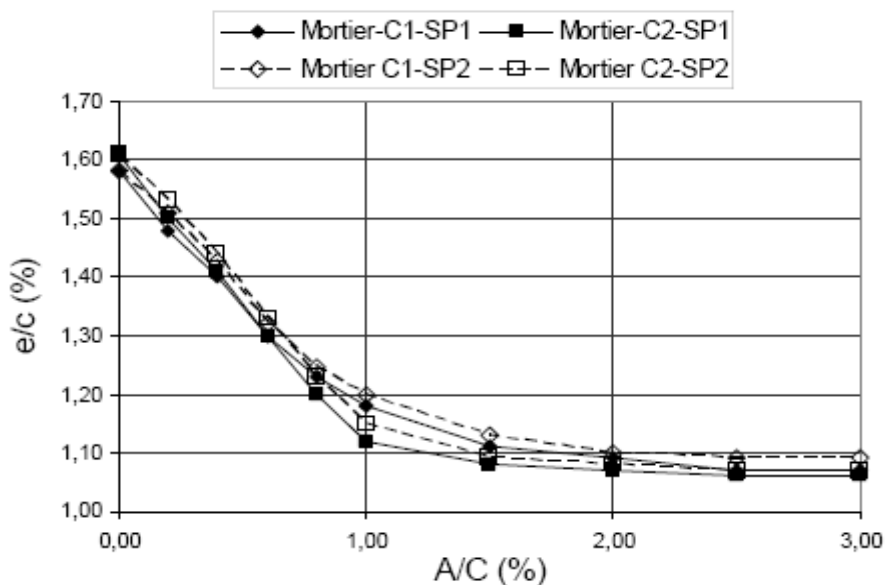
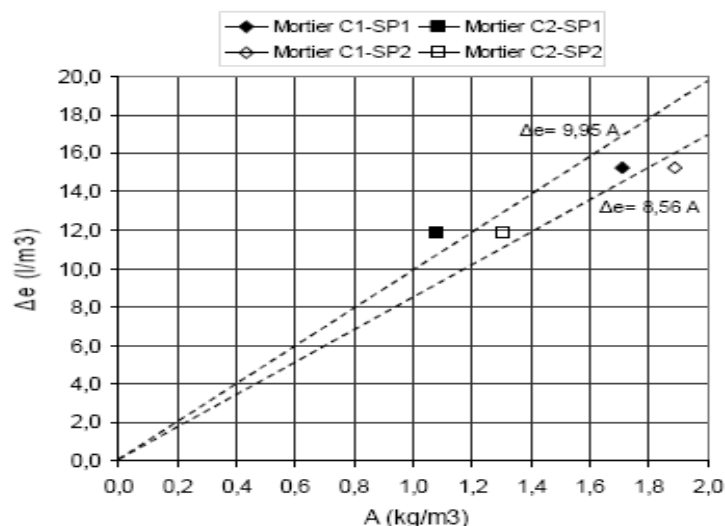


Figure I.18 : Variation du besoin en eau des mortiers de référence C1 et C2 sans additions à même consistance en fonction de la quantité d’adjuvants superplastifiants SP1 et SP2 [47]



**Figure I.19 : Réduction du besoin en eau par les adjuvants super-plastifiants SP1 et SP2, dans les mortiers de référence C1 et C2 sans additions à même quantité d'eau [47]**

A. Benmounah [48] a étudié l'influence des sulfates sur le comportement rhéologique de la pâte de ciment ne dépend pas uniquement des quantités de sulfates dans le clinker, mais aussi de leur nature. La présence d'une quantité élevée d'alcali dans les sulfates alcalins a un effet négatif sur la fluidité. L'effet du sulfate de calcium est double : Il diminue la quantité d'alcalis en les remplaçant. Il apporte aussi des ions  $Ca^{2+}$  dans la solution, ce qui permet de freiner l'hydratation des phases du ciment. L'ajout d'une importante quantité de gypse est donc nécessaire avec les clinkers riches en arcanite ou/et en aphaltite. Les ciments avec arcanite et/ou aphaltite ont une demande en super-plastifiant plus élevée que les ciments avec syngénite et/ou langbeinite de calcium.

Une présence importante de sulfates alcalins ou d'hémihydrate dans le ciment peut provoquer la cristallisation de la syngénite ou du gypse qui pourra diminuer la fluidité. L'optimisation de la quantité et de la nature des sulfates et leur influence sur le comportement rhéologique ainsi que sur l'hydratation des pâtes cimentaires reste un processus expérimental délicat, car les réactions d'hydratation sont gouvernées par la texture des hydrates spontanément produits ; leur formation est généralement fonction de la composition des solutions. La complexité de ces réactions, de même que la variation des phases et des natures des sulfates dans le ciment, forme un système difficile à maîtriser.

Deux types de ciment: le CRS et le CPA qui ont des teneurs respectives en C3A, de 2.33% et de 8.83 %. Les teneurs en Equivalents alcalins des clinkers CRS et CPA sont respectivement 0,46 %, et 0,95 %. Leur teneur en  $SO_3$ , sont respectivement égales à : 1.82 % et 2.28 %.

Le polymère utilisé est le PolyNaphtalène Sulfonate (PNS) qui est un polymère constitué de la répétition d'un même motif de formule :  $[-CH_2-CH_5(SO_3-Na^+)-]$ . Les super-plastifiants contenant des sulfonates sont sujets à une interaction préférentielle avec les phases de C3A. Il s'agit d'une réaction chimique en compétition avec celle entre le gypse et C3A. Cette réaction réagit l'hydratation du C3A qui est autrement très rapide (Ramachandran et al 1998).

L'influence de la composition chimique et en particulier la teneur en C<sub>3</sub>A sur la consistance des bétons à hautes performances a été montré par Kadri [49] par son absorption des molécules des super plastifiants. (Figure I.20).

Types de ciments	C1 : CPA-CEM I 52.5	-CEM I 52.5 PM CP2, faible teneur en C <sub>3</sub> A.	
Types d'adjuvants	F1 : Super-plastifiant à base de Naphtalène sulfonate	F2 : Super-plastifiant à base de résine mélamine	F3 : Super-plastifiant à base de résine vinyle.

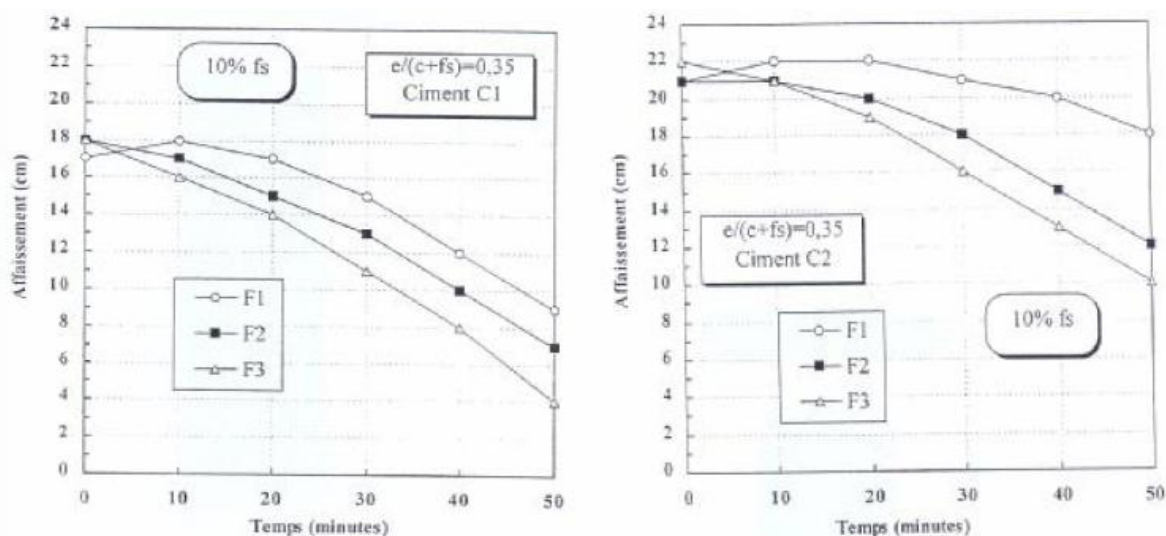
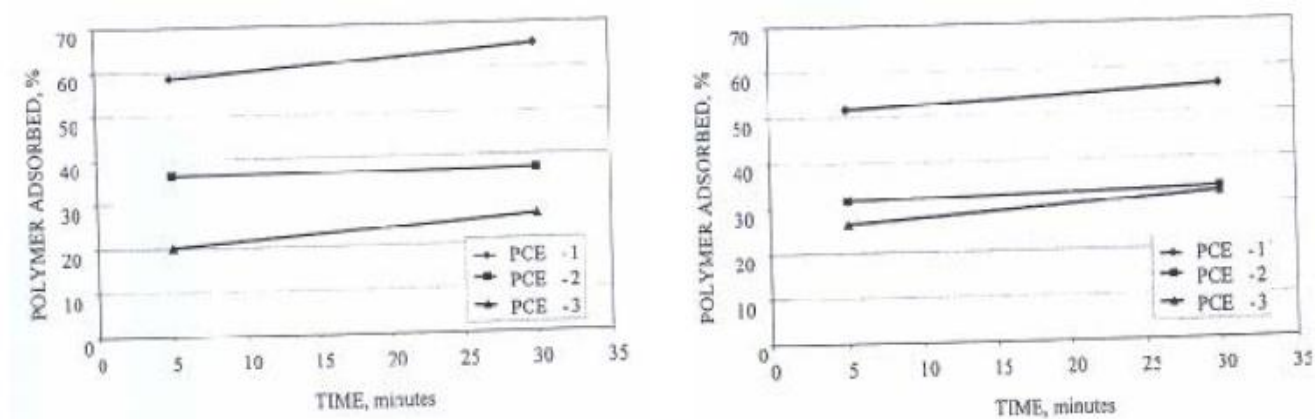


Figure I.20: Evolution de l'affaissement d'un BHP à base de deux types de ciment en fonction du temps pour 3 super-plastifiants différents, selon kadri [49]

En effet, les ciments à faible teneur en C<sub>3</sub>A ont un effet favorable sur la diminution du dosage de saturation et sur la perte d'ouvrabilité au cours du temps. Il a aussi montré que le naphtalène sulfonaté est plus grand en terme de dosage de saturation et maintien de la consistance du BHP au cours du temps.

Magratto & al [50] ont étudié aussi l'amélioration de la compatibilité des nouveaux super-plastifiants à base de poly-carboxylates avec les ciments (figure I.21), ils ont prouvé que :

- La vitesse d'hydratation du ciment à jeune âge variait en fonction de sa composition chimique et spécialement la phase aluminatée et sulfate, qui constituent la clé de compréhension du maintien de la fluidité.
- La nouvelle génération de super-plastifiants à base poly-carboxylates entraîne une forte réduction d'eau et un maintien de l'ouvrabilité optimal.

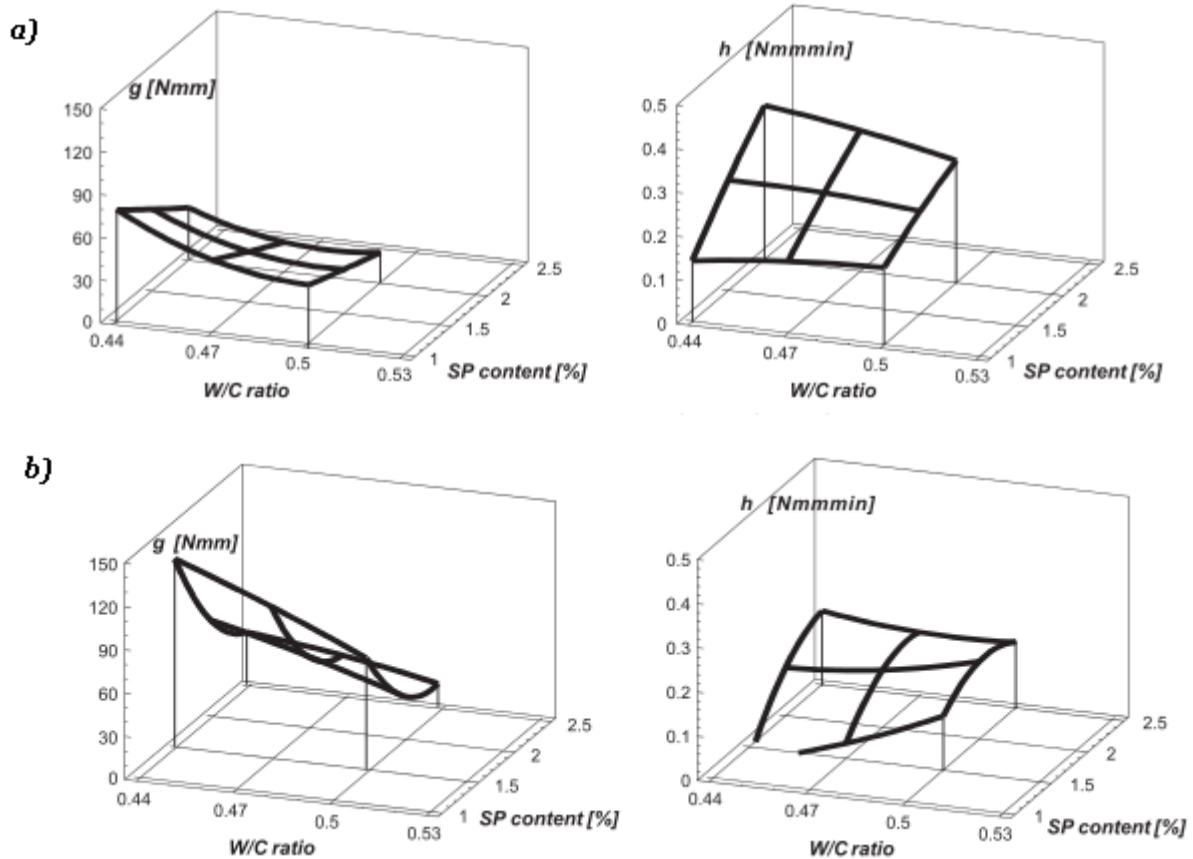


**Figure I.21 : Résultats d'adsorption pour les ciments C et D, selon Magratto & al [50]**

*PCE 1, PCE 2 et PCE 3 : Trois super-plastifiants à base de poly carboxylates*

Golaszewski et Szwabowski [51] ont montré en étudiant l'influence des super-plastifiants sur le comportement rhéologique des mortiers de ciment à l'état frais en utilisant un rhéomètre rotationnel (figure I.22), que :

- Les super-plastifiants à base de poly-carboxylate étaient plus efficaces que les Super-plastifiants à base de naphthalène sur l'amélioration des propriétés rhéologiques des mélanges à l'état frais (réduction du besoin en eau et ségrégations).
- Le type de ciment (sa composition minéralogique et chimique) influe beaucoup sur les performances des différents super-plastifiants.
- Enfin, La température aussi influe sur les propriétés des mortiers avec super plastifiants.

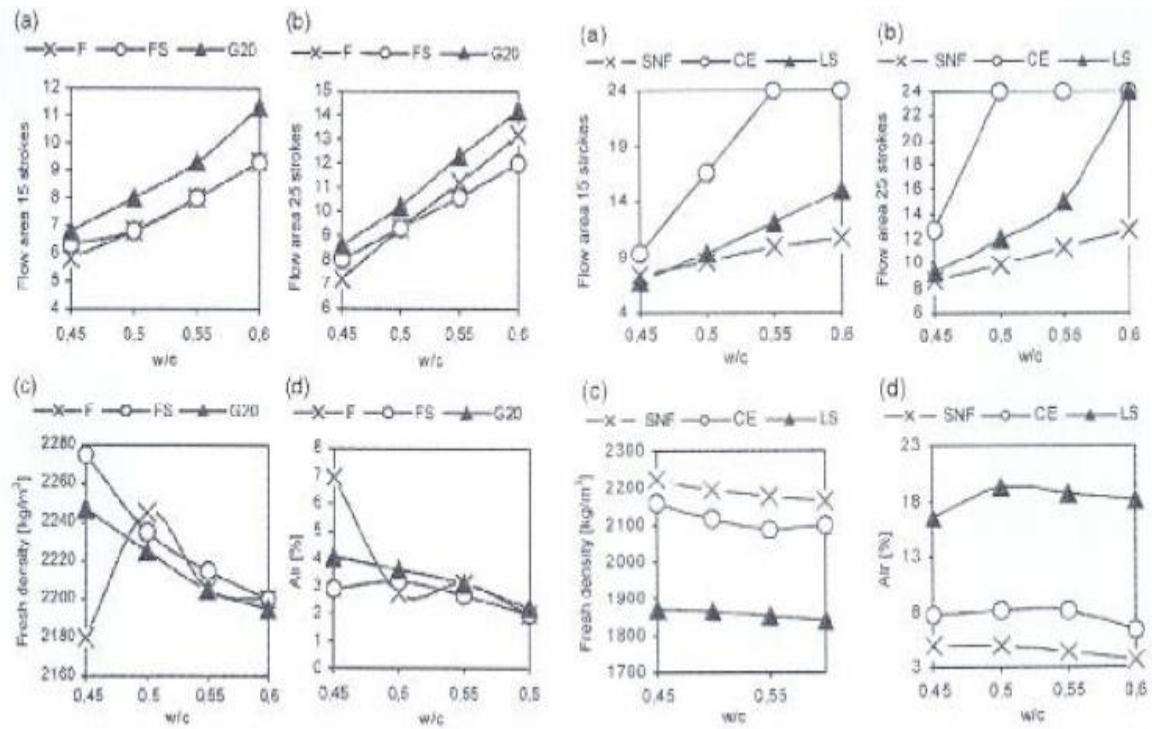


**Figure I.22 : Influence du rapport E/C et le dosage en superplastifiant à bases de polycarboxylate (a) et naphtalène (b), sur les propriétés rhéologiques des mortiers après 50min du début du malaxage, selon Golaszewski et Szwabowski [51]**

$g$ : yields value (Valeur d'écoulement)  $h$ : plastic viscosity (Viscosité plastique)

Chandra et bjornstrom [52] ont montré en étudiant l'influence du type et du dosage en super-plastifiant sur la fluidité des mortiers (figure I.23), que :

- Les super plastifiants, même s'ils sont de la même famille, avaient des effets différents sur le comportement rhéologiques des mortiers à cause de leur composition de synthèse qui influençait leur poids moléculaire et leur configuration chimique.
- Les mélanges cimentaires deviennent plus fluides avec l'augmentation du dosage en super plastifiants.
- Les particules de ciment absorbe le super-plastifiant ce qui retarde le processus d'hydratation du ciment et augmente la fluidité des mortiers.
- L'efficacité des super-plastifiants a été établie dans l'ordre suivant : super-plastifiant à base d'acide carboxylique, de lignosulfonate, de naphtalène sulfonaté et de mélamine sulfonaté.



**Figure I.23 : Variation de l'affaissement, densité du mélange frais et volume d'air occlus en fonction de la teneur en superplastifiant et de la teneur en eau selon Chandra et Bjornstrom [52]**

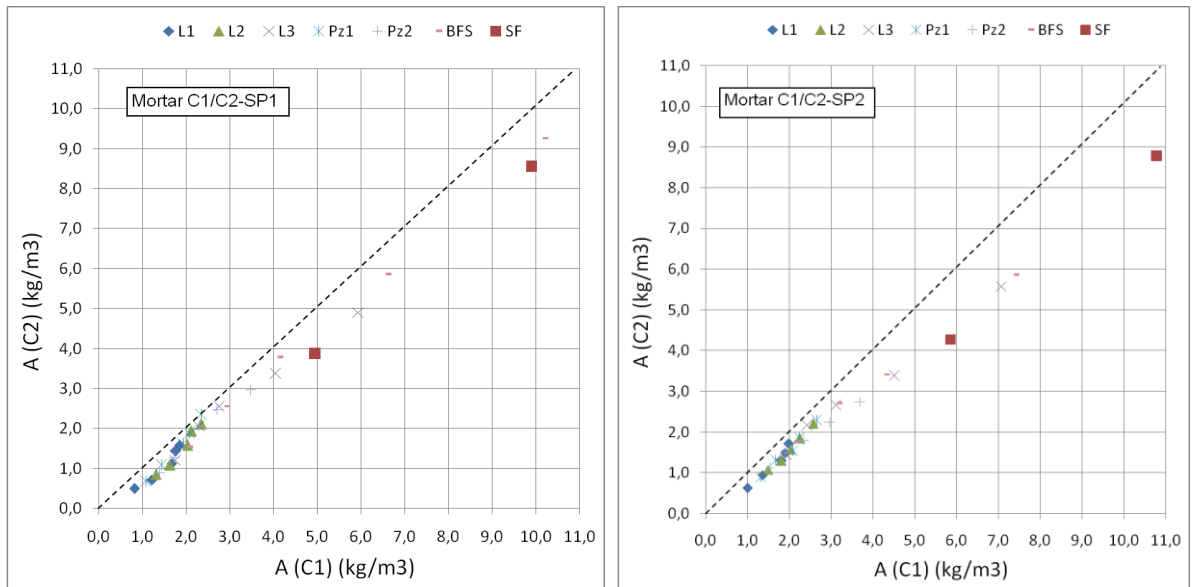
*F, FS, G20 : Super-plastifiant à base de mélamine formaldéhyde condensé.*

*SNF : Super-plastifiant à base de naphthalène formaldéhyde sulfonate.*

*LS : Super-plastifiant à base d'acide lignosulfonate.*

*CE : Super-plastifiant à base polyacrylique acide.*

A.Boudchicha [53] en étudiant l’Influence des paramètres de Formulation sur les propriétés à l’état frais des matériaux cimentaires avec des additions minérales a montré que l’efficacité du super-plastifiant dépend de la nature du ciment et elle est plus forte dans les mortiers à base de ciment C2 à faible teneur en C3A (figure I.24).



**Figure I.24: Corrélation entre la demande de super-plastifiant SP1 et SP2 pour les mortiers C1 et C2 [53]**

### IV- Influence des super-plastifiants sur l'hydratation des ciments :

Par leur nature chimique, les super-plastifiants peuvent interagir avec les ciments utilisés dans les bétons en retardant ou en accélérant le processus d'hydratation pendant les premières phases en influençant les prises et les résistances à jeunes âges.

De Larrard .F [54] a prouvé que l'hydratation du ciment se développe plus vite en période dormante sans provoquer des changements importants dans le processus d'hydratation.

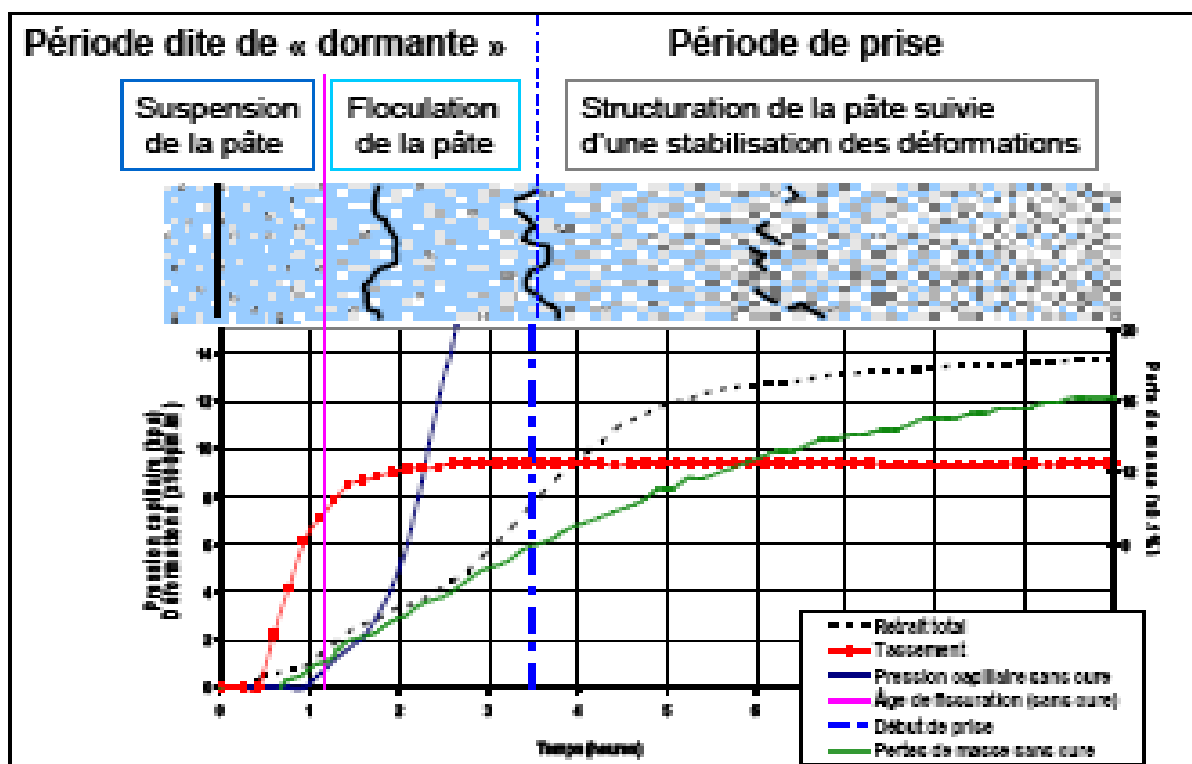
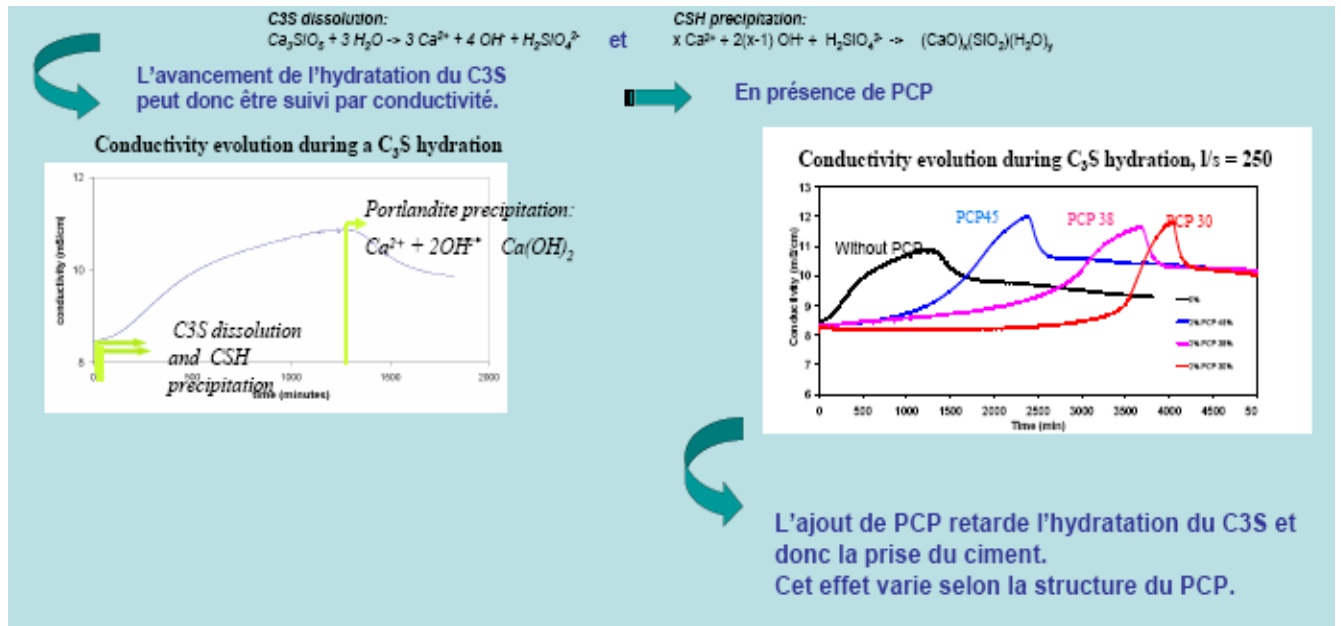


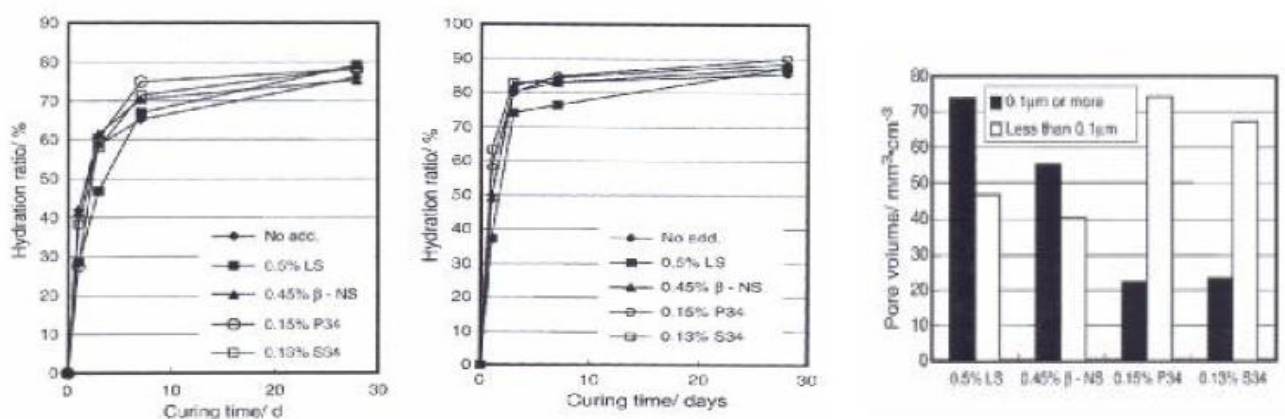
Figure I.25 : Evolution microstructurale du béton. [54]

Sylvie.pourchet [55] a étudié sur l'effet des super-plastifiants de type PCP sur l'hydratation des silicates tricalciques et il a trouvé que les PCP retardent l'hydratation du C3S. Ce retard est corrélé au nombre de fonctions carboxylates du PCP susceptibles d'interagir avec les surfaces de C3S. Ces adjuvants modifient également la croissance des hydrates (CSH) responsables de la prise du ciment.



Quand à Aitcin [56], il a montré que lorsqu'on utilise des super-plastifiants quel que soit leur nature à très forts dosages, cette procédure peut retarder un peu l'hydratation des grains de ciment quel que soit son type ou la dimension de ses grains. Il a montré aussi que plus le dosage en super-plastifiant est important plus l'effet retardateur de l'hydratation est prouvé, et en étudiant l'évolution de la chaleur dégagée lors de la réaction d'hydratation, il a montré l'allongement de la période dormante.

Sakai & al [57], ont étudié l'influence des super-plastifiants sur l'hydratation du ciment et la structure pores du ciment durci, ils ont trouvé que l'hydratation du ciment portland n'était pas influencée par l'addition de super-plastifiants en dernier lieu.

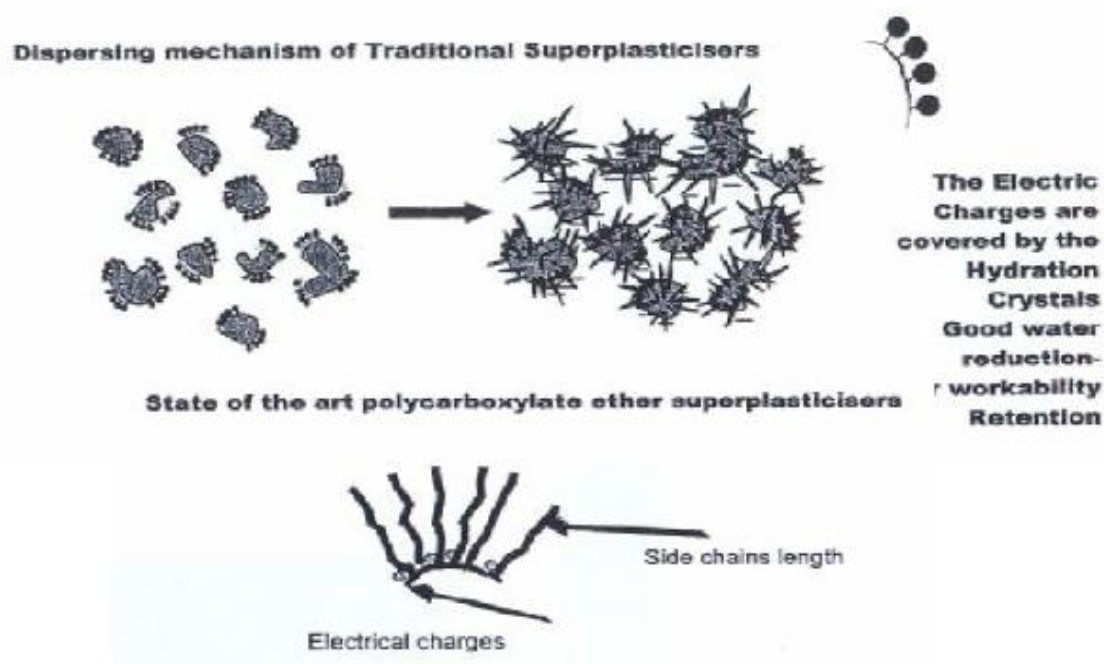


**Figure I.26 : Degré d'hydratation de l'alite et du C3A et volume des pores dans un ciment portland avec différents types de super-plastifiants selon Sakai & al [57]**

Ceci suppose que c'est en relation avec la dispersion des particules de ciment et par conséquent avec la structure des pores du matériau à l'état frais avec super plastifiants. Il a été montré que le volume des pores du ciment durci avec les super-plastifiants à base de naphtalène et lignosulfonate est plus grand que celui avec super-plastifiants à base de polycarboxylates (figure I.26).

Corradi & al [58] ont, à leurs tours, montré dans leur intervention sur les nouveaux super-plastifiants pour le contrôle total des performances des bétons frais et durcis, qu'en raison de leur meilleure adsorption de l'ettringite et de leur meilleure dispersion des particules, les principales caractéristiques de ces polymères (figure I.27), sont:

- Une plus grande réduction d'eau pour l'accroissement de la durabilité,
- Une vitesse d'hydratation plus rapide pour les performances à jeune âge,
- Une maniabilité de plus longue durée pour les mises en œuvre lentes
- Un meilleur contrôle de la rhéologie des bétons pour une meilleure mise en forme.



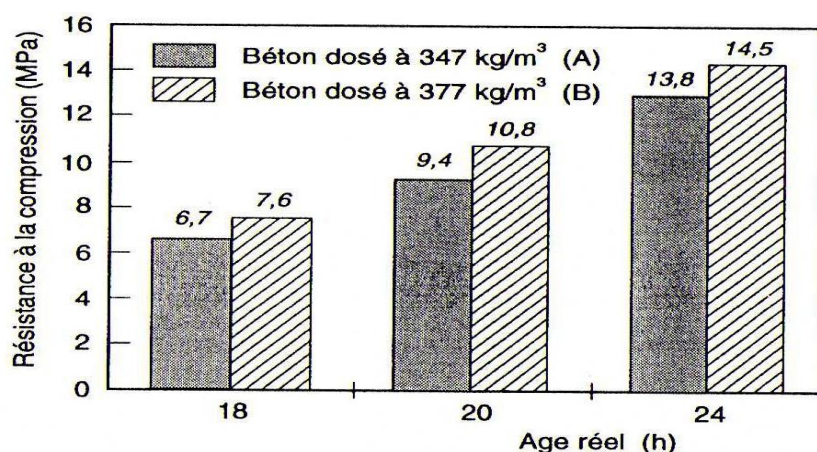
**Figure I.27 : Mécanismes de dispersions des super-plastifiants traditionnels et nouveaux selon Corradi & al [58]**

### V- Influence des super-plastifiants sur les propriétés mécaniques :

La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à 28 jours, désignée par  $f_{c28}$ . Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, le béton se comporte comme un matériau fragile.

La résistance du béton dépend de plusieurs facteurs et en particulier de la classe et le dosage en ciment, la quantité d'eau, la porosité de la structure granulaire et la qualité des granulats. C'est une notion toute relative et elle dépend de la méthode d'essai utilisée (comprenant la forme des éprouvettes). [59]

La figure I.28, illustre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à courts termes de bétons à même ouvrabilité, dosés à 347 et 377 kg/m<sup>3</sup> de ciment CPJ-CEM II42.5R. Les rapports E/C sont de 0.54 et 0.51 respectivement.



**Figure I.28 : Influence du dosage en ciment sur les résistances en compression à courts termes d'un béton [38]**

On peut remarquer que:

L'augmentation de la résistance à 18 et 20 heures est de 15%.

Cette augmentation de résistance peut être expliquée par:

- La réduction du rapport E/C,
- L'exothermie plus élevée qui est due au surdosage en ciment. [38]

La résistance en compression d'un béton varie suivant la forme et la taille des éprouvettes essayées.

Les éprouvettes cubiques donnent des résistances en compression plus importantes que les éprouvettes cylindriques et plus celles-ci sont petites et plus les résistances sont élevées (Fig I.29).

La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée) et à l'échéance fixée. [59]

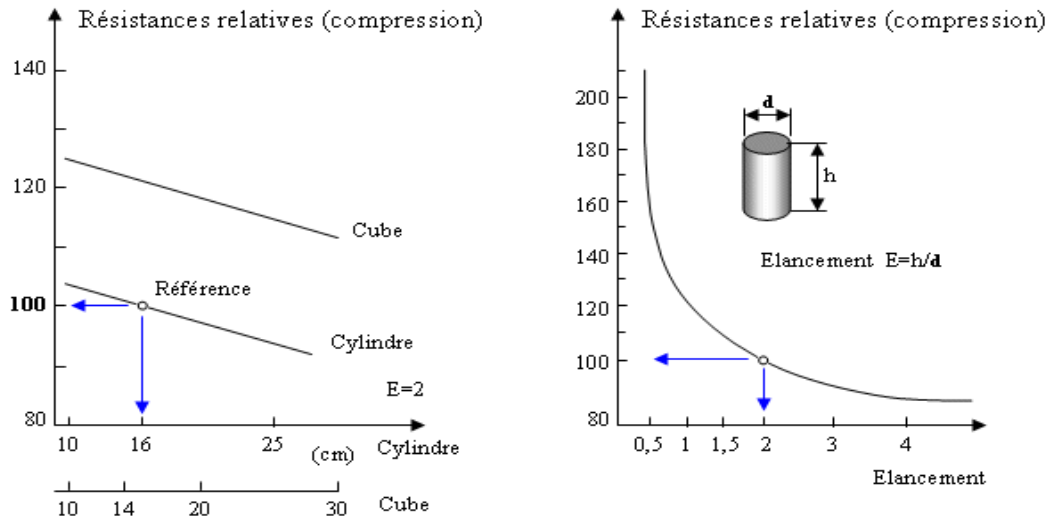


Figure I.29: Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes [59]

La résistance en compression est directement liée au rapport E/C.

Plus ce rapport est élevé et plus les résistances sont faibles.

L'influence du rapport E/C est pratiquement similaire à toutes les échéances du béton. [38]

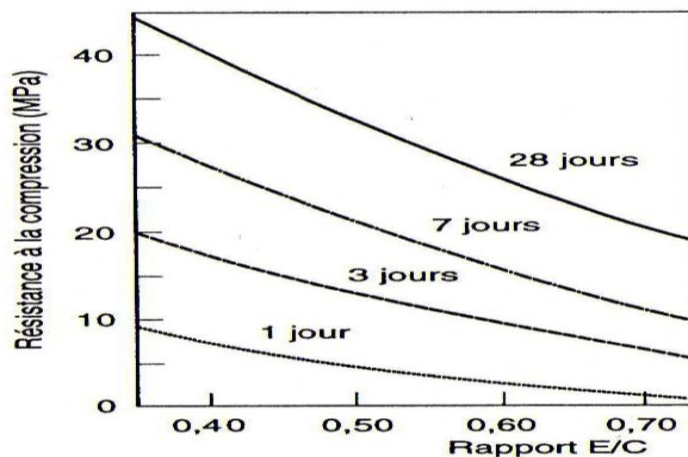


Figure I.30 : Influence du rapport E/C sur les résistances en compression d'un béton [38]

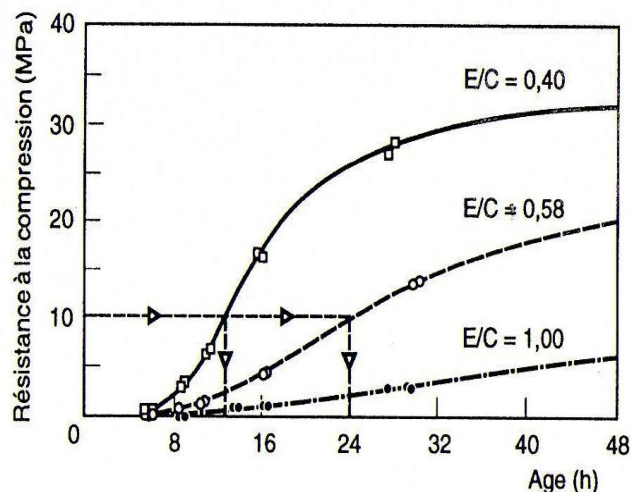


Figure I.31 : Influence du rapport E/C sur les résistances en compression à jeunes âges d'un béton [38]

Erdogdu [60] a montré en étudiant la compatibilité des super-plastifiants avec des ciments de différentes compositions, que l'effet du super-plastifiant dépendait de la composition et de la quantité de ciment utilisé dans le mélange (figure I.32).

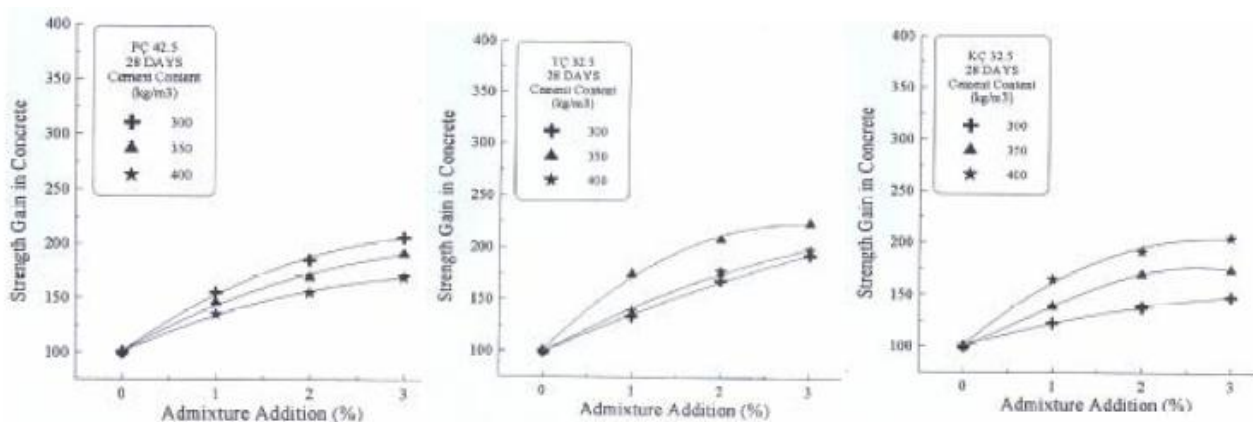


Figure I.32: Gain en résistance en fonction de la quantité de super-plastifiant pour trois types de ciment, selon Erdogdu [60]

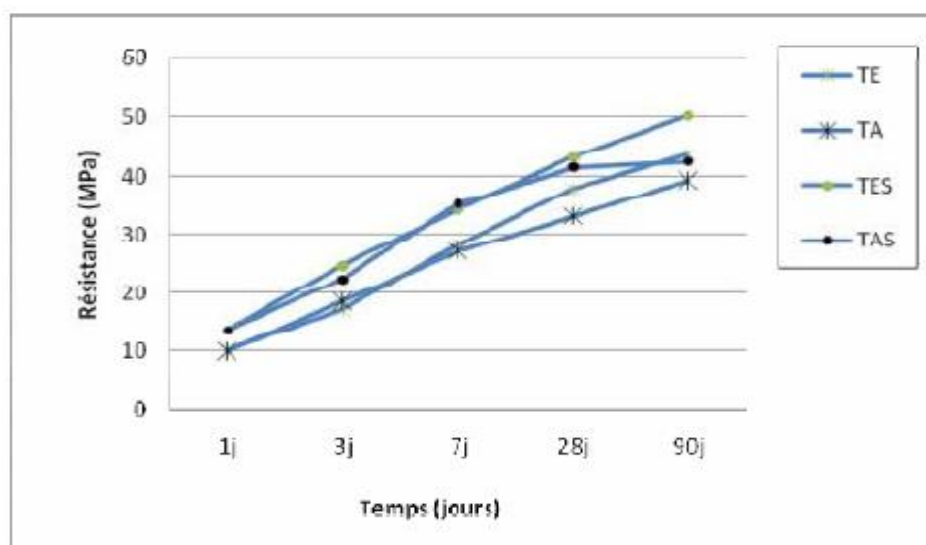
Falikman & al [61] ont montré en étudiant les performances des super-plastifiants à base de poly carboxylates, que ces derniers assuraient les mêmes performances rhéologiques et mécaniques avec des dosages de 2.7 à 3.3 fois plus inférieurs que les super-plastifiants conventionnels à base de poly-naphtalène.

Les super-plastifiants n’influencent pas en général le retrait, le fluage, le module d’élasticité ni la résistance au gel - dégel du béton [62,63]. De ce fait, ils n’ont pas d’effets négatifs sur la durabilité des bétons [64] et en particulier sur la résistance aux sulfates [62].

Amouri Chahinez [65] en étudiant la contribution à l’étude de l’influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) a quantifié l’effet du super-plastifiant et du mode de conservation sur le surcroît de résistance pouzzolanique avant 28 jours, par contre, le phénomène s’inverse pour les courtes échéances. Elle a prouvé que le super-plastifiant favorise le développement de la réaction pouzzolanique seulement si le mortier est conservé dans l’eau. Dans le cas contraire (conservation dans l’air), son action est négligeable, donc, la conservation sèche n’est pas favorable à la réaction pouzzolanique.

Elle a montré que ce surcroît de résistance en présence du super-plastifiant est du à la défloculation des grains de ciment, facilitant son hydratation.

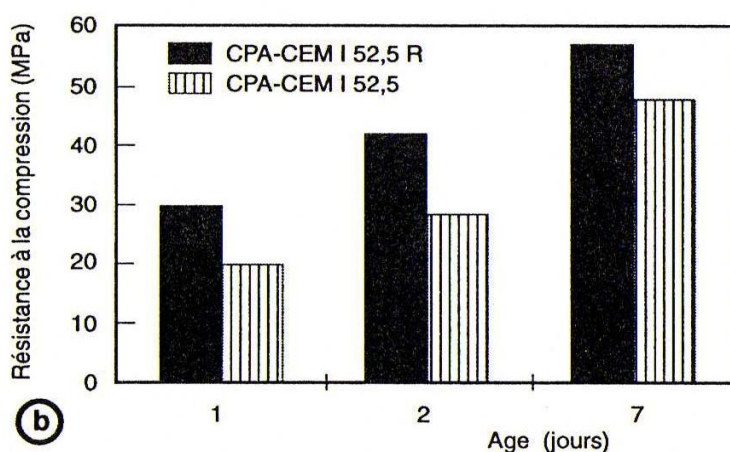
En effet, et d’un point de vue quantitatif, elle a résumé que le super-plastifiant a plus d’influence sur les performances mécaniques que le type de conservation (mûrissement).



**Figure I.33 : Evolution de la résistance des mortiers témoins avec super-plastifiant en fonction du temps sous deux modes de conservation [65]**

En voulant connaître l'action des super-plastifiants (poly carboxylate et polynaphtalene Sulfonaté) sur les propriétés rhéologiques et physico-mécaniques des ciments CEM I et CRS Kheribet R., A.Bnemounah, M. Samar, M.Saidi, [66] ont arrivé qu'avec l'ajout du PC, les points de saturation du CEM I et du CRS sont plus bas que les points de saturation de ces mêmes ciments avec le PNS, donc le PC est plus compatible avec ces ciments, que le PNS(4). Les viscosités des pâtes cimentaires diminuent avec l'augmentation du pourcentage de Super-plastifiant. La résistance mécanique à la compression à 28 jours du CEMI est supérieure à celle du CRS car le pourcentage de C3S du CPA est supérieur à celui du CRS.

Aussi, et en plus de l'influence du type de ciment, la classe de durcissement à court terme a une influence sur les résistances en compression des bétons. Pour une classe, un ciment de classe R, développe à courts termes des résistances plus élevées et la figure I.34 le confirme. [38]



**Figure I.34: Influence du type de ciment sur les résistances en compression à courts termes d'un béton [38]**

Meishan Pei, Zhenfei Wang, Wenwei Li, Jin Zhang, Qiwei Pan et Xiaojuan Qin [67] ont démontré en étudiant sur les propriétés des matériaux cimentaires fluidifiés avec deux super-plastifiants basés sur aminosulfonate-phenol-formaldehyde que la résistance à la compression des mortiers avec AS sont respectivement de 0,21 et 0,28 MPa, supérieure à celle des mortiers avec SDMAS à 7 jours en raison de l'eau inférieure eau/ciment tandis que la résistance à la compression des mortiers avec SDMAS sont 1,54 et 0,62 MPa, respectivement, supérieure à celle des mortiers avec AS à 28 jours, En résumé, la facilité d'utilisation de SDMAS dans le béton est mieux qu'As et les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau I-2: La résistance à la compression et la flexion des différents mortiers à 7 et 28 jours  
[67]

	W/C	Fluidity (mm)	7 days		28 days	
			Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
Plain	0.48	181	17.59	4.13	28.88	6.30
AS	0.39	180	30.85	6.03	43.73	7.15
SDMAS	0.40	178	30.64	5.75	45.27	7.77

## CHAPITRE II

### CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISEES ET DIFFERENTS ESSAIS EFFECTUES

#### Introduction

Dans ce chapitre, nous avons défini la provenance, la nature et la composition des matériaux utilisés pour la réalisation de ce travail. Nous avons caractérisé leurs propriétés physico-chimiques et nous avons défini également les différentes méthodes d'essais utilisés ainsi que leurs modes opératoires et les références de leurs normes correspondantes. Enfin, nous avons défini les différents mélanges étudiés.

#### I- Matériaux utilisés :

##### **I-1.Ciment :**

Pour la réalisation de ce travail, nous avons utilisé deux types de ciments (notés C1, C2).

**Le ciment C1** : est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, fabriqué dans l'usine de Elma Labiodh dans la wilaya de Tébessa, comprenant de 80% à 94% de clinker, de 6% à 15% d'ajouts normalisés composés de fillers calcaires et au plus 5% de gypse. Ce ciment est adapté pour les Bétons courants et tous travaux les de génie civil qui n'exigent pas des contraintes élevées, les travaux de maçonnerie, réalisation de dallages, confection d'enduits, la préfabrication avec ou sans traitement thermique, les travaux routiers, traitements de graves, réalisation des chaussées, de pistes, ..., béton prêt à l'emploi ainsi que tous travaux de bétonnage en grande masse, barrages, piles, ....etc.

**Le ciment C2** : est un ciment portland composé à durcissement rapide CPJ-CEM II/A 42.5 R, sorti de l'usine de Msila, comprenant de 80% à 94% de clinker, de 6% à 15% d'ajouts normalisés composés de fillers calcaires et au plus 5% de gypse. Ce ciment est adapté pour les travaux de béton destinés à la préfabrication et pour les travaux de bétons industrialisés et à temps froids.

##### **I-1.1 Composition Chimique des ciments utilisés:**

Les compositions chimiques des deux types de ciment ont été obtenus en utilisant la diffraction par rayons x (La fluorescence aux rayons x) Norme P 15-467.

L'installation est constituée de quatre parties principales :

**Partie excitation (Production de rayon x) :** Cette partie nous permet de produire des rayons x par l'intermédiaire d'un tube à rayon x à anode au rhodium et à fenêtre frontale alimentée en haute tension par un générateur.

**Partie spectromètre :** Cette partie est constituée d'une enceinte fermée contenant le filtre, le diaphragme, le collimateur et le cristal analyseur.

**Partie détection :** Comprenant deux compteurs, l'un à flux gazeux, l'autre scintillation ainsi que les amplificateurs.

**Partie traitement des données :** Elle est composée du microprocesseur, des deux imprimantes et du micro-ordinateur.

- **fonctionnement de l'appareil**

L'échantillon est irradié par un faisceau de rayons x produit par le tube , chaque élément constituant l'échantillon émet ses propres radiations de fluorescence ( les radiations provenant du porte échantillon sont éliminées par le diaphragme , le faisceau de radiations est ensuite dirigé par le collimateur ( deux positions , l'une fine et l'autre large ) vers le cristal analyseur qui va diffracter chaque radiation de longueur d'onde donnée dans un angle correspondant de façon à satisfaire la loi de BRAGG

Loi de BRAGG :  $nL = 2D \sin\alpha$

L : étant la longueur d'onde de la radiation.

D : étant la distance réticulaire du cristal analyseur.

$\alpha$  : étant l'angle de diffraction.



**Figure II.1 : Diffraction par rayon x (fluorescence x)**

Le spectre est doté de six (06) cristaux, chacun étant performant pour des éléments donnés.

La radiation choisie est captée par un compteur (au choix scintillé ou flux gazeux) qui transforme l'énergie de la radiation électromagnétique en impulsions électriques qui seront par la suite amplifiées et discriminées par la baie de mesures.

Le microprocesseur gère l'ensemble de ces opérations en plus des différents paramètres tels que le vide, les tensions des détecteurs et du tube à rayons ainsi que son courant.

Afin d'affiner les paramètres de mesures proposée par l'ordinateur pour chaque élément, le LOGICIEL « spectral /AT » est muni d'un programme « adjust » qui permet à l'utilisateur de choisir les paramètres d'excitation et de détection.

Le programme QUANT nous permet de faire des analyses quantitatives, il est conçu de façon à introduire les instructions en suivant un menu, l'accès à chaque information est très facile ainsi d'ailleurs que toute autre opération tels que l'ajout ou bien le retrait de standards, d'éléments ou le changement de toute autre valeur. De même qu'il prend en charge l'établissement de courbes d'étalonnage avec possibilité d'utilisation de certaine option rendant ainsi le travail très souple. Les échantillons inconnus (perles) sont introduits dans le prote échantillon dans des positions déterminées, on définit un programme d'analyse et on lance les mesures, celles-ci se font automatiquement et le spectromètre se remet en position d'attente à la fin des analyses.

Cette analyse nous donne les compositions chimiques des deux ciments qui sont indiquées des le tableau suivant :

**Tableau II.1 : Les compositions chimiques des ciments C1 et C2**

Compositions en %	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
<b>C1</b>	64.81	19.98	5.24	2.94	1.27	2.32	0.49	0.009	10.07
<b>C2</b>	66.41	19.93	5.06	3.19	1.36	1.95	0.44	0.006	7.37

Nous remarquons que les compositions chimiques des deux ciments C1 et C2 sont assez comparables.

**I-1.2 Composition minéralogique des ciments utilisés:**

Les compositions minéralogiques des ciments ont été déterminées par les formules de BOGUE :

**Tableau II.2 : Formules de Bogue**

Normal clinker	
C <sub>3</sub> S =	4.071 C – 7.602 S – 6.719 A – 1.430 F
C <sub>2</sub> S =	8.602 S + 5.068 A + 1.079 F – 3.070 C
Or	2.868 S – 0.754 C <sub>3</sub> S
C <sub>3</sub> A =	2.650 A – 1.692 F
C <sub>4</sub> AF =	3.043 F

Les compositions minéralogiques des deux ciments qui sont calculées à partir de ses compositions chimiques selon les formules de Bogue sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau II.3 : Les compositions minéralogiques du Clinker de C1 et C2 selon Bogue**

Compositions en %	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
C1	55.50	9.65	8.01	8.04
C2	74.23	0.78	7.00	8.98

Nous remarquons que les compositions minéralogiques des deux ciments C1 et C2 sont assez différentes. Le ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) de Msila, est caractérisé par une plus forte teneur en C3S, alors que le ciment C1 (CEM II/A 42.5) de Lma Labiod, est caractérisé par une plus forte teneur en C2S. La teneur en C3A est comparable pour les deux ciments utilisés.

**I-1.3 Finesse des ciments utilisés:**

La finesse des deux ciments a été déterminée par deux méthodes conformes à la **Norme NF EN 196-6**

- ❖ La première est obtenue par tamisage et sert à détecter la présence de grosses particules de ciment. Cette méthode d’essai est avant tout appropriée à la vérification et au contrôle du procédé de production.
- ❖ La deuxième est obtenue par la détermination de la surface spécifique Blaine de chaque type de ciment en utilisant la méthode de perméabilité à l’air par l’appareil Blaine.

**\*La méthode par tamisage : Norme NF EN 196-6 :**

On fait agiter l’échantillon de ciment à essayer en le secouant pendant 2 min dans un récipient bouché, pour disperser les grumeaux.

Attendre 2 min, remuer doucement la poudre résultante en utilisant une baguette sèche et propre, de façon à distribuer les fines dans tout le ciment.

Placer le réceptacle sous le tamis (tamis de 90 µ). Peser approximativement 10 g de ciment à 0.01 g près et les placer dans le tamis en prenant soin d’éviter toute perte. Disperser les grumeaux de ciment. Fixer le couvercle sur le tamis. Agiter le tamis par des mouvements tournoyants, planétaires et linéaires jusqu’à ce que plus aucun matériau fin ne passe à travers le fond du tamis. Enlever et peser le résidu.



**Figure II.2 : Tamis électrique**

Exprimer cette masse en pourcentage ( $R_1$ ) de la masse de la quantité placée initialement dans le tamis à 0.1% près. Enlever délicatement tout le matériau fin adhérent à la partie inférieure du fond, et le placer dans le réceptacle.

Répéter toute la procédure en utilisant une prise fraîche de 10 g pour obtenir  $R_2$ . Calculer le refus du ciment R par la moyenne arithmétique de  $R_1$  et  $R_2$  exprimée en pourcentage à 0.1% près. Si les résultats diffèrent de plus de 1% absolu, exécuter un troisième tamisage et calculer ensuite la moyenne des trois tamisages.

Les résultats obtenus sont dans le tableau suivant :

**Tableau II.4 : Module de finesse des ciments C1 et C2**

Ciment	Module de finesse Mf (%)
C1	20.8
C2	7.6

Nous remarquons que le ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) présente un module de finesse beaucoup plus faible que le ciment C1 (CEM II/A 42.5), ce qui est conforme à sa caractéristique R (durcissement rapide).

**\*La méthode par perméabilité à l'air (méthode Blaine): Norme NF EN 196-6 :**

Le liant hydraulique dont on désire mesurer la surface spécifique doit être à porosité constante (égale à 0,500).

- Méthode : peser à 0,01 g près, une masse m de liant telle que, compte tenu de son volume V après tassement dans la cellule, sa porosité soit égale à 0,500.

- La masse de matière à prendre s'écrit:  $m = (1 - e) \rho v$ .

$\rho$  : Masse volumique

v : volume utile de la cellule.

- \*Placer la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier-filtre.
- \*Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.
- \*Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre.
- \*Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule.
- \*Retirer le piston lentement (Il est commode de pratiquer une légère rotation alternative).
- \*Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur.
- \*Enduire de vaseline la partie ronde de la cellule et la placer sur son ajustage en lui imprimant un léger mouvement de rotation pour répartir la vaseline; veiller au cours de cette opération à ne pas altérer le tassement de la couche.
- \*Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur. Fermer le robinet. Mettre en marche un chronomètre sensible au cinquième de seconde quand le niveau de liquide atteint le deuxième trait.
- \*L'arrêter quand le niveau de liquide atteint le troisième trait.
- \*Noter le temps écoulé  $t$  ainsi que la température de la pièce.
- \*Faire trois mesures et prendre la moyenne arithmétique des trois temps.



**Figure II.3 : Appareil Blaine**

\*La surface spécifique est calculée par la formule:

$$S = k \frac{\sqrt{e^3} \cdot \sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{\eta}}$$

S : Surface spécifique (cm<sup>2</sup>/g).

k : Constante de l'appareil.

e : Porosité de la couche tassée.

t - Temps mesuré en secondes.

ρ : Masse volumique (g/cm<sup>3</sup>).

η : Viscosité de l'air à la température d'essai (en poises).

Dans notre cas et par les constantes de l'appareil utilisé, on a : **SSB = 446 (t)<sup>1/2</sup>**

Les caractéristiques physiques sont indiquées dans le tableau suivant :

**Tableau II.5 : Finesse Blaine des ciments C1 et C2**

Ciment	Surface spécifique Blaine SSB (cm <sup>2</sup> /g)
C1	3810
C2	4526

L'essai Blaine confirme la plus grande finesse du ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) par rapport au ciment C1 (CEM II/A 42.5).

**I-2.Agrégats :**

Les granulats utilisés sont des granulats naturels calcaires concassés de la carrière de Djebel Loutssalit de Dafri d'Ain Fakroun de granulométrie continue de classes 0/5, 5/8, et 8/15.

**\*Analyse granulométrique (NF P 18-560) :**

L'essai d'analyse granulométrique a été réalisé conformément à la norme NF P 18-560

Leurs caractéristiques sont données dans les tableaux suivants :

**Tableau II.6 : Granulométrie du sable 0/5**

Tamis Ouverture (mm)	Retenus cumulés (gr)	Retenus cumulés (%)	Passants (%)
6.3	0	0	100
5	82.8	41.4	95.86
4	162.0	8.1	91.9
2.50	469.5	23.47	76.53
1.25	923.7	46.18	53.82
0.63	1284.8	64.24	35.76
0.315	1527.7	76.38	23.61
0.16	1695.9	84.79	15.21
0.08	1978.2	98.91	1.09
Fond de tamis	2000	100	0

**Tableau II.7 : Granulométrie du gravier 5/8**

Tamis Ouverture (mm)	Retenus cumulés (gr)	Retenus cumulés (%)	Passants (%)
8	2584.7	86.16	13.84
6.3	2981.0	99.37	0.63
5	3000	100	0

**Tableau II.8 : Granulométrie du gravier 8/15**

Tamis Ouverture (mm)	Retenus cumulés (gr)	Retenus cumulés (%)	Passants (%)
14	0	0	100
12.5	970.5	32.35	67.65
10	2182.4	72.75	27.25

**\*Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598) :**

Cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une éprouvette normalisée remplie par une solution de flocculant ; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment (H1 et du sédiment + flocculant H2).

L'équivalent de sable est donné par la relation suivante : **ES= H1/H2 \*100**

L'équivalent de sable permet de quantifier la notion de propreté d'un sable, la présence d'un excès d'argile peut provoquer une augmentation du retrait et une forte demande en eau ce qui entraînera une baisse de résistance mécanique, cependant un manque total de fines conduit à des bétons peu maniabiles, ségrégations et de faibles compacité. L'équivalent de sable est d'autant plus élevé que la teneur en argile est faible.

**E.S = 78.34** : Le sable utilisé présente un équivalent de sable approprié à l'utilisation dans les bétons destinés à la préfabrication et à la précontrainte.

**\*Essai Los Angeles (NF P 18-573) :**

Cet essai consiste à mesurer la résistance des granulats à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements.

Le coefficient Los Angeles est calculé par la formule suivante :

**LA = p\*100/5000** Les granulats sont qualifiés comme suit :

- **LA < 15** .....très bon ;
- **15 ≤ LA ≤ 20** ..... bon à moyen ;
- **20 ≤ LA ≤ 30** ..... moyen à faible ;
- **LA ≥ 30** ..... médiocre.

Le coefficient Los Angeles est d'autant plus élevé que le granulat est moins bon.

Le coefficient Los Angeles des granulats utilisés dans cette thèse est : **LA = 18.99 %**.

Donc ce sont des granulats concassés est considéré comme bons à moyens pour un usage dans les bétons de préfabrication.

**Tableau II.9 : Caractéristique des granulats utilisés**

classes	Densité apparente	Poids spécifique	Equivalent de sable
0/5	1.64	2.72	78.34
5/8	1.40	2.73	-
8/15	1.36	2.73	-

**\*Caractéristiques de la roche :**

**Tableau II.10 : Caractéristiques physiques et mécaniques de la roche**

<i>Poids spécifique</i>	<i>Charge de rupture compression</i>	<i>Résistance mécanique</i>
<b>2.78 t/m<sup>3</sup></b>	<b>289.6KN</b>	<b>113.56 MPa</b>

**I-3.Adjuvant :**

Pour améliorer les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons aux jeunes âges et qui est l’objectif de cette thèse, et afin d’étudier l’effet de la nature des super-plastifiants sur les propriétés des matériaux cimentaires, on se propose donc d’utiliser trois types d’adjuvants de différentes natures, conformes à la norme EN 934-2 :

- Deux adjuvants produits par Granitex.
- Un troisième produit par Sika.

- ❖ **SP1 : GRANITEX Medafluid SFR 122** : est un super-plastifiant haut réducteur d’eau à base de polymères combinés.
- ❖ **SP2 : GRANITEX Medaflow 145** : est un super-plastifiant haut réducteur d’eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d’éther modifiés.
- ❖ **SP3 : SIKAPLAST BV 40+** : est un plastifiant réducteur d’eau à base de poly carboxylates modifiés.

Les caractéristiques des adjuvants ont été recueillis à partir de la fiche technique fournie par le fabricant.

Les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.11 : Caractéristiques des adjuvants SP1, SP2 et SP3**

<b>caractéristiques</b>	<b>Forme</b>	<b>Couleur</b>	<b>PH</b>	<b>Densité</b>	<b>Teneur en chlorure</b>	<b>Extrait sec</b>	<b>Plage de dosage recommandée</b>
<b>SP1 :</b>	Liquide	Marron	6.6±0.1	1.20±0.02	<0.1 g/L	40%	0.8-2.5% du poids de ciment
<b>SP2 :</b>	Liquide	Brai claire	5-6	1.065±0.015	<0.1g/L	30±1.5%	0.3-2% du poids de ciment
<b>SP3 :</b>	Liquide	Marron	4.7±1	1.04±0.015	<0.1g/L	11.5±1.5%	0.3-1.5% du poids de ciment

## II- Les différents essais effectués :

L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons.

Le béton hydraulique est formé d'une pâte fluide (Liant, eau, air occlus) enrobant des granulats (sable et graviers). En général, les propriétés rhéologiques et mécaniques du mélange dépendront essentiellement des propriétés de la pâte à l'état frais et durci, qui évolue en fonction du temps et de la température ambiante.

Pour étudier l'influence des adjuvants super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons, il est plus convenable de passer par l'étude de matrices plus élémentaires qui sont plus adaptées à la reproduction et à la maîtrise des différents essais qu'on veut effectuer. A ce titre nous considérerons d'abord l'influence des super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques des coulis et pâtes de ciment, pour ensuite vérifier l'influence de ces adjuvants sur les temps de début et de fin de prise. Le travail sera ensuite étendu aux mortiers pour étudier leurs comportements à l'état frais et durci sous l'effet des super-plastifiants utilisés et pour les deux ciments. En dernière phase, les résultats obtenus pour les mortiers seront validés sur des formulations de bétons avec les super-plastifiants les plus performants.

A ce titre nous serons amenés à considérer les essais suivants pour caractériser les propriétés rhéologiques et mécaniques des différents mélanges étudiés.

### *\*Les essais sur les coulis et pâtes de ciment :*

- essai d'écoulement par le cône de Marsh.
- essai de consistance normalisée par l'appareil de Vicat.
- essai de début et fin de prise par l'appareil de Vicat.

### *\*Les essais sur les mortiers :*

- essai de consistance par la table à secousses.
- résistance en compression des mortiers.

### *\*Les essais sur le béton :*

- essai d'affaissement au cône d'Abrams.
- résistance en compression des bétons.

## II-1. Les essais sur les coulis et pâtes de ciment :

### II-1-1. L'essai d'écoulement par le Cône de Marsh :( Norme NF P 18-358)

En général, les pâtes de ciment entrant dans la composition des mortiers ou des bétons ont des consistances beaucoup plus fluides et donc des dosages en eau plus importants. Quant aux pâtes qui sont utilisées pures pour l'injection des câbles de précontrainte, elles sont encore plus fluides et appelées coulis. Pour tester la consistance de ces coulis, on utilise alors un autre appareillage: le cône d'écoulement.

La préparation des coulis et pâtes ont été réalisées en utilisant un malaxeur d'une capacité de 5 litres composé d'un récipient et d'un batteur en acier inoxydable, pouvant fonctionner à une vitesse lente de 140 tours par minute et une vitesse rapide de 285 tours par minute.



Figure II.4 : malaxeur

### Préparation du coulis de ciment :

- nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...)
- introduire la quantité d'eau choisie (fonction de  $E/C=0.5$ ) dans la cuve du malaxeur
- introduire (1600 g dans notre cas) de ciment dans un laps de temps compris entre 5 et 10 s
- noter la fin de cette opération comme temps zéro
- mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 90 s
- stopper le malaxeur et nettoyer les parois du récipient avec le batteur: durée 15 s
- remettre le malaxeur en route, vitesse lente durant 90 s

La fluidité se mesure habituellement à l'aide d'un cône de Marsh de 1875 cm<sup>3</sup>. Cet équipement est très adapté pour l'évaluation de l'efficacité des super-plastifiants.

On chronomètre le temps mis par un litre de coulis pour passer au travers d'un ajutage calibré (orifice 10 mm de diamètre et 60 mm de longueur). Plus l'écoulement sera rapide et plus le coulis sera réputé être fluide.

La figure ci-dessous donne les dimensions du cône utilisé. L'essai s'effectue sur 3 échantillons. Si  $t_0$  est l'instant d'achèvement de la confection du coulis, les mesures de fluidité se font à :  $t_0$  ;  $t_0 + 15$  minutes et  $t_0 + 30$  minutes, (on malaxe que 30 secondes le coulis qui est protégé pendant son attente de toute évaporation).

Le temps d'écoulement doit être inférieur à 25 secondes et se maintenir constant pendant les 15 minutes qui suivent la fabrication du coulis.

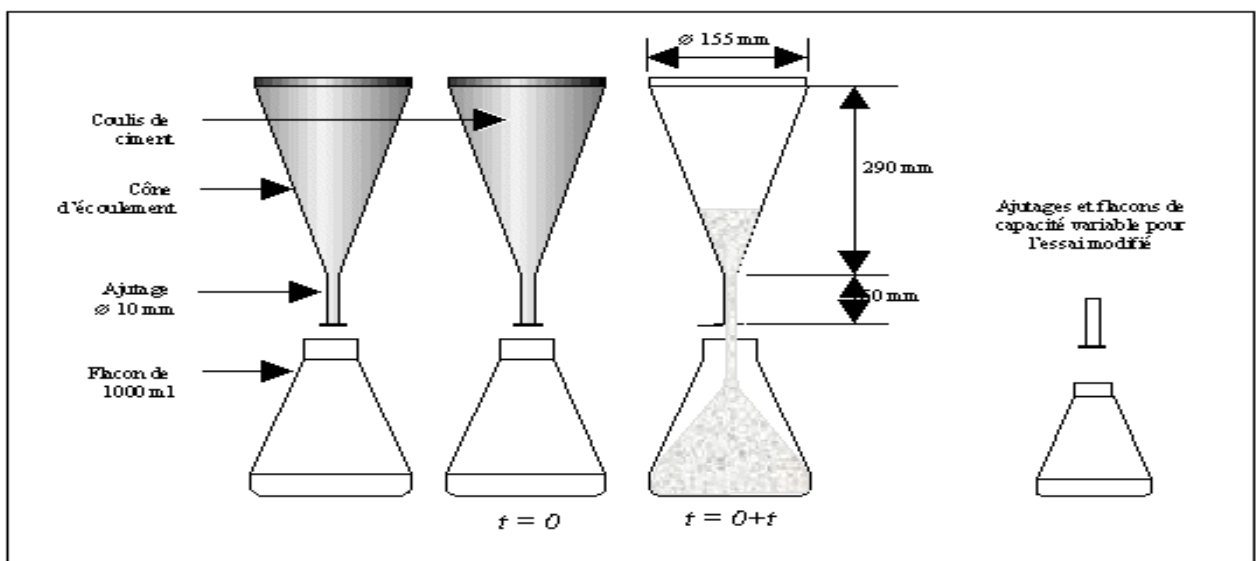


Figure II.5 : Dimension du cône de Marsh (cône d'écoulement)

### II-1-2. L'essai de consistance normalisée par l'appareil de Vicat: (Norme NF EN196-3)

#### Préparation de la pâte de ciment :

- nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...)
- introduire la quantité d'eau choisie (fonction de C/E ou E/C) dans la cuve du malaxeur
- introduire 500 g de ciment dans un laps de temps compris entre 5 et 10 s
- noter la fin de cette opération comme temps zéro
- mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 90 s
- stopper le malaxeur et nettoyer les parois du récipient avec le batteur: durée 15 s
- remettre le malaxeur en route, vitesse lente durant 90 s

La consistance de la pâte de ciment est sa plus ou moins grande fluidité. C'est une caractéristique qui évolue au cours du temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres, il faut pouvoir partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées. La consistance dite "consistance normalisée" peut être déterminée par l'essai en utilisant un appareil qui s'appelle "Vicat" (figure II.6)

- introduire rapidement la pâte dans le moule tronconique sans tassement excessif, le moule étant placé sur la plaque de base plane
- placer le moule et la plaque de base plane dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat
- abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte
- 4 minutes après le temps zéro, lâcher la sonde sur la pâte
- 30 s après avoir lâché la sonde, noter la distance d entre l'extrémité de la sonde et la plaque de base plane
- vider la pâte de ciment dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure
- renouveler l'opération jusqu'à obtention de  $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ .

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée.

- Si  $(d) = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$ , on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée).
- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.a.d.  $d > 7 \text{ mm}$  ou  $d < 5\text{mm}$ ), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.



**Figure II.6 : Appareil de Vicat pour la mesure de la consistance**

### **II-1-3. L'essai de prise par l'appareil de Vicat :( Norme NF EN 196-3)**

On a vu que l'essai de consistance était réalisé après 4 min du début de malaxage. Après ce temps, la consistance évolue et l'opération d'hydratation se poursuit et des liaisons s'établissent par l'entremise de cristaux formés lors de cette hydratation jusqu'à la prise de la pâte.

L'essai de début et de fin de prise consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée.

Pour cet essai, on utilise l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1.13 mm de diamètre. (figure II.7).

Le temps de début de prise est atteint lorsque l'aiguille s'arrête à une distance  $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  sous l'effet d'une masse complémentaire de 300 g, et est compté à partir du début de malaxage.



**Figure II.7 : appareil de Vicat pour la mesure de début et fin de prise**

### ***II-2. Les essais sur les mortiers :***

#### **II-2-1. L'essai de consistance par la table à secousses :( Norme NF EN 1015-3)**

##### **Préparation du mortier :( Norme NF EN 196-1)**

- verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment ;
- mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes). Lorsqu'il est fait usage de fractions de sable séparées, ajouter successivement les quantités spécifiées de chaque fraction en commençant par la plus grosse. Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30 s supplémentaires.

-arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

-reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

La durée des diverses périodes de malaxage doit être observée à  $\pm 1$  s près.

Avant chaque essai, essuyer le disque ainsi que la surface intérieure et les bords du moule à l'aide d'un chiffon humide, laisser sécher et lubrifier légèrement les surfaces à l'aide d'une huile minérale non résineuse de très basse viscosité. Si la table n'a pas été utilisée durant les dernières 24 h, effectuer 10 secousses avant l'utilisation.

Placer le moule au centre du disque de la table secousses et introduire le mortier.

La consistance de référence a été évaluée en mesurant l'étalement du mortier à l'état frais sur une table à secousses. Le mortier frais étant placé dans un moule tronconique, en acier inoxydable ou en laiton, de  $60 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  de hauteur, présentant un diamètre intérieur de  $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  à la base et de  $70 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  au sommet. La surface intérieure et les bords du moule sont lisses. Les plans contenant les bords supérieur et inférieur sont perpendiculaires à l'axe du moule. L'épaisseur minimale de la paroi du moule est de 2,0 mm, en deux couches, chaque couche étant compactée par au moins 10 coups brefs de dame afin d'assurer un remplissage uniforme du moule. Durant le remplissage, maintenir fermement d'une main le moule sur le disque.

Éliminer l'excédent de mortier à l'aide d'un couteau araser et essuyer la surface libre du disque afin qu'elle soit propre et sèche, en prenant soin d'ôter toute l'eau autour du bord inférieur du moule. Au bout d'environ 15 s, soulever lentement et verticalement le moule et étaler le mortier sur le disque en imprimant 15 secousses à la table, à une fréquence constante d'environ 1 secousse par seconde.

Et la valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange à l'aide du pied coulisse sur deux directions perpendiculaires (figure II.8) à 1 mm près.

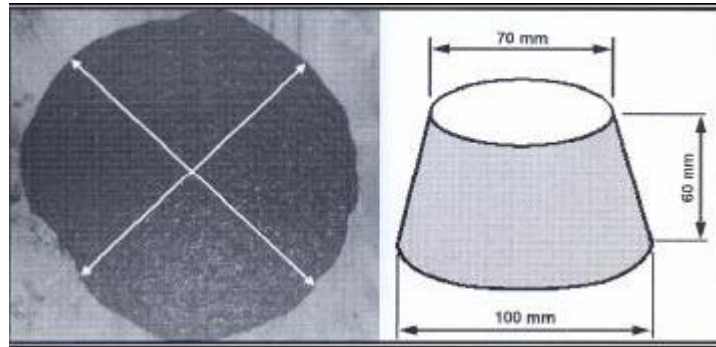


Figure II.8 : Mesure de l'étalement pour les mortiers à l'état frais

**II-2-2. L'essai de compression des mortiers :**

Pour chaque mortier ayant acquis la consistance de référence, on a préparé des éprouvettes 50 mm x 50 mm x 50 mm. La mise en place des mortiers dans les moules est effectuée en deux couches qui subissent sur une table à chocs (figure II.9) 60 secousses en 60 secondes par couche.



Figure II.9 : Table à chocs

Les moules sont alors conservés dans une chambre humide (figure II.10) pendant 24 heures à une température de 20 °C et plus de 95 % d'humidité relative. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées immergées dans l'eau à une température de  $20 \pm 2$  °C, jusqu'à l'échéance de l'essai.



**Figure II.10 : Une chambre humide**

Des essais de compression ont été évalués à 1j, 2j, 3j, 7j, 14j et 28 jours en utilisant une machine de compression (figure II.11). La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.

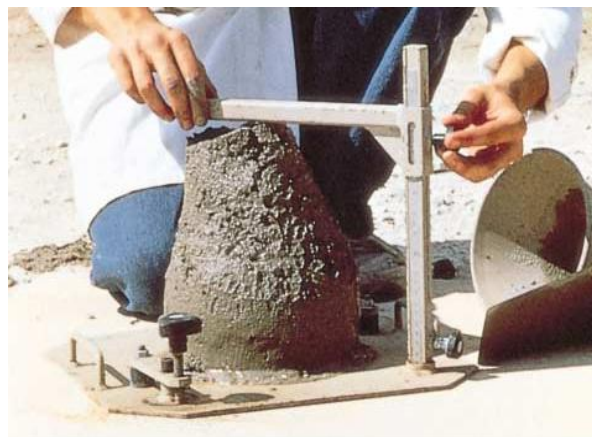


**Figure II.11 : une machine de compression**

### II-3. Les essais sur les bétons :

Les procédures suivies pour la préparation des bétons ont été réalisées conformément à la norme NF P 18-404. Les constituants du béton sont introduits dans la cuve du malaxeur dans l'ordre suivant : gros éléments, liant et sable ; l'eau étant rajouté avec éventuellement l'adjuvant super-plastifiant après 01 minute de malaxage à sec. Le malaxage de l'ensemble est poursuivi pendant 02 minutes.

L'essai de plasticité du béton frais a été réalisé conformément à la norme NF P 18-451, par la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams (slump test) (figure II.12). L'essai consiste à constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. L'équipement nécessaire à l'essai comprend un moule tronconique sans fond de 30 cm de hauteur, 20 cm de diamètre inférieur et 10 cm de diamètre supérieur, une plaque d'appui, une tige de piquage et un portique de mesure. Les étapes suivies pour la réalisation de cet essai, consistent à humidifier la plaque d'appui, huiler légèrement le moule tronconique, introduire le béton dans le moule en trois couches de hauteurs égales mises en place avec la tige de piquage qui est actionnée 25 fois par couche, araser le béton sur le bord supérieur en roulant la tige de piquage horizontalement et procéder au démoulage en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu, il s'affaisse plus ou moins en fonction de sa consistance. Après 01 minute du démoulage, nous mesurons à l'aide du portique, la hauteur d'affaissement jusqu'au point le plus haut du béton frais. La mesure arrondie au centimètre, caractérise l'affaissement.



**Figure II.12 : Mesure de l'affaissement par le cône d'Abrams**

Les résistances en compression des bétons ont été réalisées sur des éprouvettes cubiques de dimensions  $10*10*10\text{ cm}^3$ , conformes à la norme NF P 18-430.

La mise en place du béton frais dans les moules a été effectuée par piquage conformément à la norme NF P 18-404.

Les moules ont été dotés d'un dispositif s'opposant à l'évaporation et conservés sans être déplacés pendant 24 heures dans un local à une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées dans l'eau à une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , jusqu'à l'échéance de l'essai.

L'essai de compression sur les éprouvettes de béton a été réalisé conformément à la norme NF P 18-406. Dans ce cas l'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance en compression est le rapport de la charge de rupture par la section transversale de l'éprouvette.

L'équipement nécessaire à l'essai de compression du béton comprend une presse de force et de dimensions appropriée répondant aux normes NF P 411 et NF P 412 et un moyen pour la rectification des extrémités des éprouvettes tels que le surfaçage au souffre. Pour réaliser l'essai de compression des bétons, on doit placer l'éprouvette séchée et rectifiée dans la presse et la centrer en utilisant un gabarit de centrage, procéder à la mise en charge progressive et enregistrer la charge de rupture.

Si  $S$  est la section transversale de l'éprouvette en ( $\text{mm}^2$ ) et  $P$  la charge de rupture en (N), la résistance  $f_c$  sera donnée en MPa à 0.5 MPa près par :

$$f_c = \frac{P}{S}$$

L'essai a été réalisé sur trois (03) d'éprouvettes, et la valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes.

### **III-CONFECTION DES BETONS DE REFERENCE :**

Les bétons de référence sans super-plastifiants ont été confectionnés en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse.

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier et donné satisfaction.

Elle est d'autre part très simple et il est toujours possible de procéder à des essais de convenance pour améliorer les propriétés du béton désiré.

Les caractéristiques des bétons de référence pour les ciments C1 et C2, ont été définies comme suit :

- Diamètre du plus gros granulat : 15 mm,
- Affaissement au cône d'Abrams :  $7 \pm 1$  cm (béton plastique),
- Résistance caractéristique exigée :  $f_{c28} = 25$  MPa.

Les procédures suivies pour la préparation des bétons, l'affaissement au cône d'Abrams, la confection des éprouvettes, le stockage, et la mesure des résistances en compression ont été réalisées conformément aux procédures décrites dans le paragraphe précédent.

Les compositions théoriques des bétons de référence à base des ciments C1 et C2 obtenues par la méthode Dreux-Gorisse ont été ajustées jusqu'à la vérification des conditions d'affaissement au cône d'Abrams ( $7 \pm 1$  cm) et de résistance en compression ( $f_{c28} \geq 25$  MPa), pour les deux bétons de référence.

Les compositions corrigées des bétons de référence à base des ciments C1 et C2, à même consistance et les caractéristiques rhéologiques (affaissement au cône d'Abrams) sont récapitulées dans le tableau (II.12).

**Tableau II.12 : Compositions des bétons de référence à bases des ciments C1 et C2**

<b>Béton de référence</b>	<b>B1,0</b>	<b>B2,0</b>
<b>Ciment (kg)</b>	400	400
<b>Sable 0/5 (l/m<sup>3</sup>)</b>	282.07	282.07
<b>Gravier 5/8 (l/m<sup>3</sup>)</b>	98.4	98.4
<b>Gravier 8/15 (l/m<sup>3</sup>)</b>	275.51	275.51
<b>Besoin en eau (l/m<sup>3</sup>)</b>	208	215
<b>Affaissement au cône d'Abrams (cm)</b>	8	8
<b>Densité de béton (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2396	2403

## CHAPITRE III

### ACTION DES SUPER-PLASTIFIANTS SUR LES PROPRIETES DES COULIS ET DES PATES DE CIMENT

#### I- Action des super-plastifiants sur les coulis de ciment:

##### **I-1.Introduction :**

L'étude des coulis de ciment a été effectuée pour évaluer l'efficacité des différents super-plastifiants sur des matrices cimentaires basiques. Ces mélanges serviront aussi à apprécier l'interaction des différents super-plastifiants avec les ciments utilisés. Cette phase constitue une étape simple qui permet de ressortir avec des indications quant à une utilisation rationnelle et optimale des super-plastifiants dans les mélanges cimentaires tels que les mortiers et bétons.

Une série de coulis a été préparée en combinant les deux types de ciment avec les trois types d'adjuvants pour donner les six couples à étudier suivantes : C1-SP1, C1-SP2, C1-SP3, C2-SP1, C2-SP2, C2-SP3. Ces mélanges sont confectionnés avec un rapport E/C constant de 0.50. Les conditions de températures sont celles du laboratoire où la température est de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Plusieurs dosages en adjuvant SP ont été utilisés (0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%, 1.5%, 2%, 2.5% et 3%).

Dans la première partie on s'est intéressé à la mesure des temps d'écoulements en utilisant le Cône de Marsh conformément à la norme *NF P 18-358* et on a déterminé les temps  $t_0$ ,  $t_0+15\text{min}$ ,  $t_0+30\text{min}$  pour apprécier l'efficacité des différents super-plastifiants sur l'accélération du temps d'écoulement et le maintien de la fluidité.

Les résultats obtenus pour les différents mélanges ont été récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau III.1 : Temps d'écoulement t0 des coulis de ciments

Temps d'écoulement t0 (s)						
Coulis	C1			C2		
Dosage en SP	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3
0,00%	20	20	20	20	20	20
0,30%	16	15	18	17	16	17
0,60%	14	12	17	15	12	16
0,90%	12	10	16	12	10	15
1,20%	11	9	15	11	9	14
1,50%	11	8	15	10	9	13
2,00%	11	8	15	10	9	13
2,50%	11	8	15	10	9	13
3,00%	11	8	15	10	9	13

Tableau III.2 : Temps d'écoulement t0+15min des coulis de ciments

Temps d'écoulement t0+15 min (s)						
Coulis	C1			C2		
Dosage en SP	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3
0,00%	28	28	28	29	29	29
0,30%	19	17	25	22	21	24
0,60%	16	14	21	17	15	19
0,90%	13	12	17	16	13	16
1,20%	12	11	17	13	10	15
1,50%	11	9	16	12	10	15
2,00%	11	8	16	12	9	14
2,50%	11	8	15	12	9	13
3,00%	11	8	15	12	9	13

Tableau III.3 : Temps d'écoulement t<sub>0</sub>+30min des coulis de ciments

Temps d'écoulement t <sub>0</sub> +30 min (s)						
Coulis	C1			C2		
Dosage en SP	SP1	SP2	SP3	SP1	SP2	SP3
0,00%	34	34	34	38	38	38
0,30%	20	18	27	26	23	25
0,60%	16	14	21	19	15	20
0,90%	14	12	18	18	13	17
1,20%	12	11	16	16	10	16
1,50%	11	9	16	13	10	16
2,00%	11	8	16	12	9	15
2,50%	11	8	16	12	9	13
3,00%	11	8	16	12	9	13

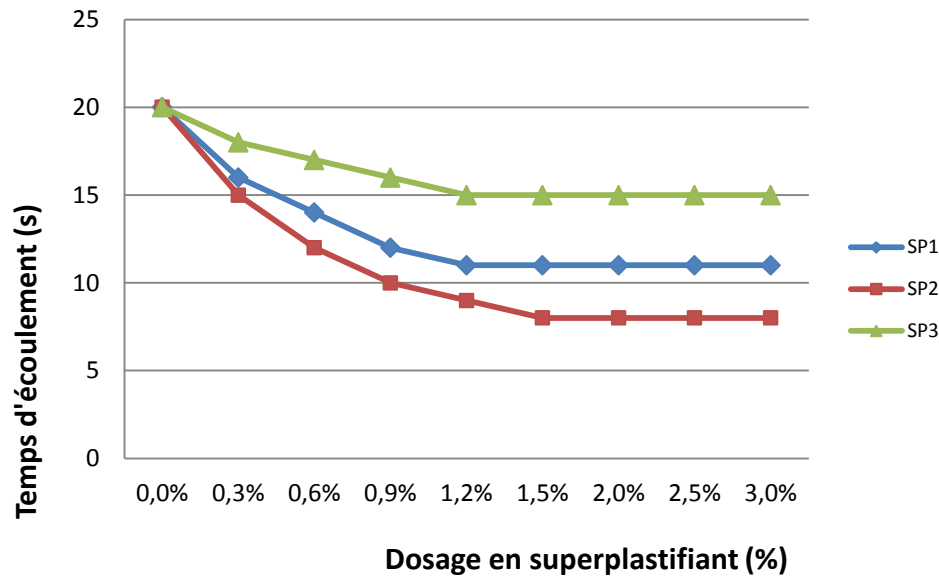
**I-2. Influence de la nature d'adjuvant sur l'écoulement des coulis :**

L'influence de la nature du super-plastifiant sur l'écoulement des coulis a été appréciée en mesurant les temps d'écoulement à t<sub>0</sub> des différents coulis à même quantités de ciments et d'eau en faisant varier le dosage en adjuvant.

La variation du temps d'écoulement t<sub>0</sub> pour les coulis C1 avec les différents super-plastifiants utilisés est représentée par le tableau (III.4) et la figure (III.1).

Tableau III.4 : le temps d'écoulement des coulis C1 avec différents adjuvants

Coulis	0%	0.3%	0.6%	0.9%	1.2%	1.5%	2%	2.5%	3%
C1-SP1	20	16	14	12	11	11	11	11	11
C1-SP2	20	15	12	10	9	8	8	8	8
C1-SP3	20	18	17	16	15	15	15	15	15



**Figure III.1 : Variation du temps d'écoulement des coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant pour les super-plastifiants SP1, SP2, SP3**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que le temps d'écoulement des coulis C1 sans adjuvants était de 20 s.

Le super-plastifiant SP1 Granitex Medafluid SFR 122 permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C1 à 11 s pour un dosage de 1.2%. Pour des dosages supérieurs le temps d'écoulement reste constant.

Le super-plastifiant SP2 Granitex Medaflow 145 permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C1 à 8 s pour un dosage de 1.5% et atteint 9 s pour un dosage de 1.2%.

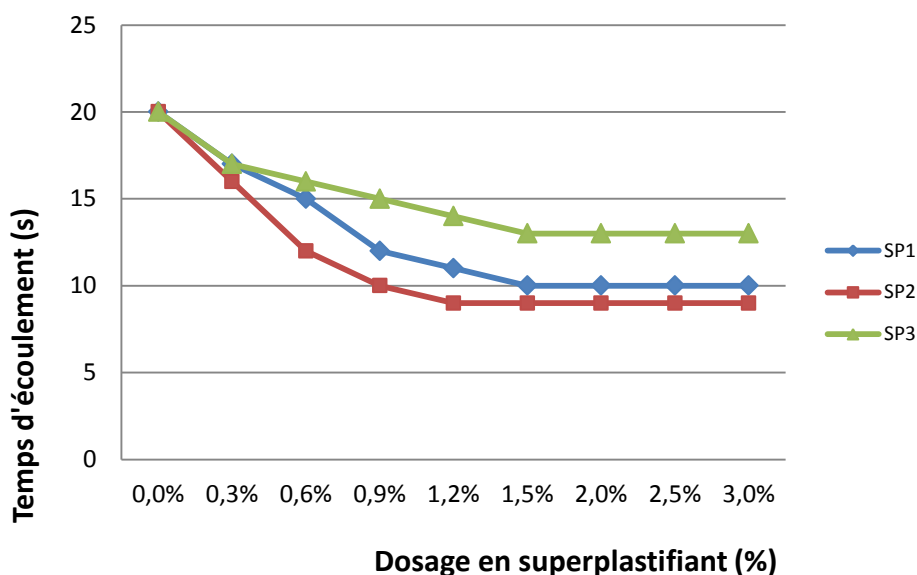
Le plastifiant SP3 Sika BV 40+ permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C1 à 15 s pour un dosage de 1.2%. Pour des dosages supérieurs le temps d'écoulement reste constant.

Il apparaît donc clairement que le super-plastifiant SP2 a la plus grande influence sur la fluidité des coulis à base de ciment C1, alors que le plastifiant SP3 présente la plus faible efficacité. Le super-plastifiant SP1 présente un comportement intermédiaire. Le degré de saturation en super-plastifiant dans les coulis C1 est visible à 1.2% pour le SP1 et SP3 et 1.5% pour le SP2

La variation du temps d'écoulement  $t_0$  pour les coulis C2 avec les différents adjuvants utilisés est représentée par le tableau (III.5) et la figure (III.2)

Tableau III.5 : le temps d'écoulement du coulis à base du C2 avec différents adjuvants

	0%	0.3%	0.6%	0.9%	1.2%	1.5%	2%	2.5%	3%
<b>C2-SP1</b>	20	17	15	12	11	10	10	10	10
<b>C2-SP2</b>	20	16	12	10	9	9	9	9	9
<b>C2-SP3</b>	20	17	16	15	14	13	13	13	13



**Figure III.2 : Variation du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant pour les adjuvants SP1, SP2, SP3**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que le comportement des coulis C2 avec les super-plastifiants utilisés est pratiquement similaire à celui des coulis C1.

Le temps d'écoulement des coulis C2 sans super-plastifiant était de 20 s.

Le super-plastifiant SP1 permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C2 à 10 s pour un dosage de 1.5%. Au-delà de ce dosage le super-plastifiant ne permet plus une augmentation de la fluidité.

Le super-plastifiant SP2 permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C2 à 9 s pour un dosage de 1.2%. Au-delà de ce dosage le super-plastifiant ne permet plus une augmentation de la fluidité.

Le plastifiant SP3 permet de réduire le temps d'écoulement des coulis C2 à 13 s pour un dosage de 1.5%. Au-delà de ce dosage le super-plastifiant ne permet plus une augmentation de la fluidité.

Ceci confirme l'efficacité du super-plastifiant SP2 par rapport aux deux autres. Néanmoins le degré de saturation en super-plastifiant dans les coulis C2 est visible à 1.5% pour le SP1 et SP3 et 1.2% pour le SP2

Cette efficacité est justifiée vu que le super-plastifiant SP2 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés alors que le SP1 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polymères combinés et le SP3 est un plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés.

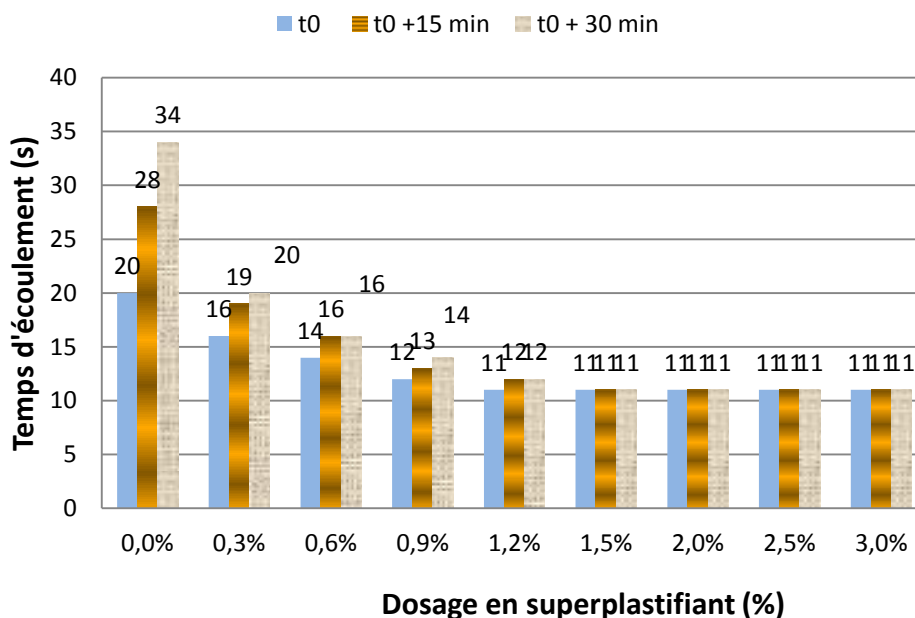
L'efficacité des super-plastifiants de la nouvelle génération par rapport aux autres super-plastifiants et plastifiants a été mise en évidence par plusieurs auteurs Magratto & al [50], Golaszewski et Szwabowski [51]. Leur efficacité est attribuée à leur mode d'action qui permet de donner aux coulis et aux pâtes de ciments un meilleur comportement rhéologique.

**I-3. Influence de la nature et du dosage des adjuvants sur le maintien du temps d'écoulement :**

Dans le paragraphe précédent, nous avons apprécié l'efficacité des adjuvants utilisés en évaluant la variation du temps d'écoulement  $t_0$  en fonction des dosages en adjuvants.

La qualité d'un super-plastifiant peut être aussi appréciée par son efficacité à maintenir la fluidité acquise dans le temps. Cette caractéristique peut être appréciée en mesurant les temps d'écoulement des coulis C1 et C2 après 15 min et 30 min du début de malaxage.

La variation des temps d'écoulement à  $t_0$ ,  $t_0+15\text{min}$  et  $t_0+30\text{min}$  en fonction du dosage en adjuvant SP1 est représentée comme suit :

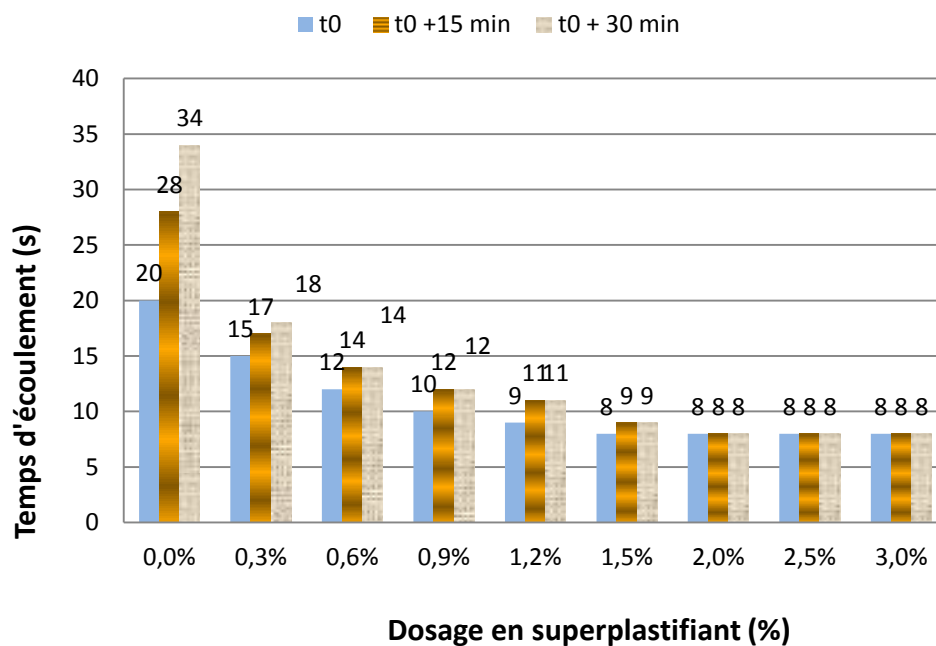


**Figure III.3 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP1**

En déduit de la figure (III.3) que :

-Le coulis à base de ciment C1 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.2%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.2% et qui est le degré de saturation de SP1 avec le ciment C1, on obtient à  $t_0$  et à  $t_0+30$  min un maintien de fluidité.

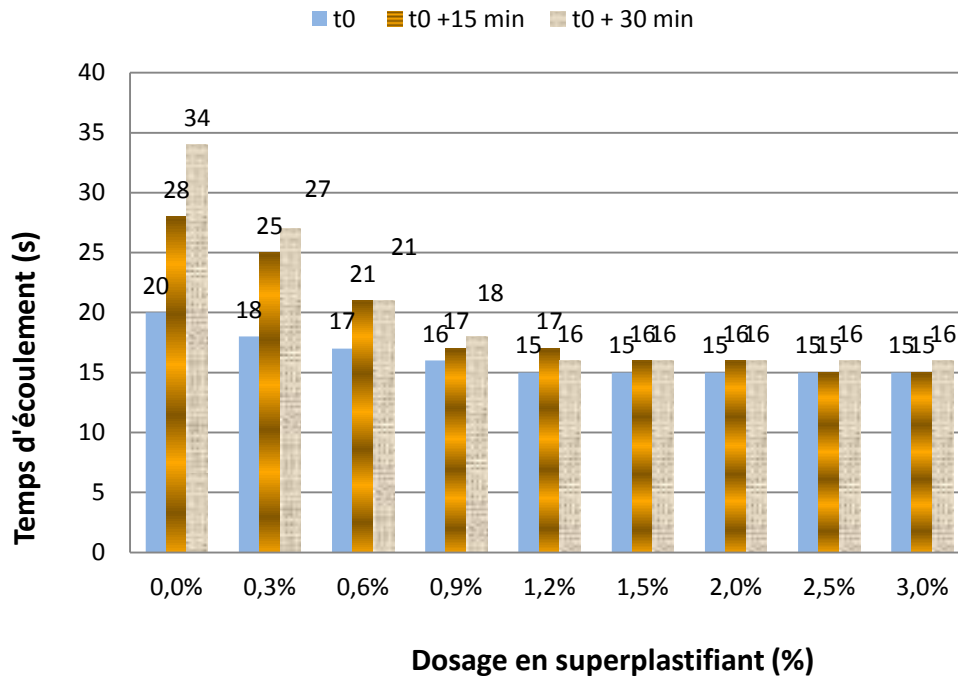


**Figure III.4 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP2**

De la figure (III.4), on a :

-Le coulis à base de ciment C1 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.5%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.5% et qui est le degré de saturation de SP2 avec le ciment C1, on obtient à  $t_0$  et à  $t_0+30$  min un maintien de fluidité.



**Figure III.5 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C1 en fonction du dosage en adjuvant SP3**

On remarque de la figure (III.5) que :

-Le coulis à base de ciment C1 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.2%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.2% et qui est le degré de saturation de SP3 avec le ciment C1, on obtient à  $t_0$  et à  $t_0+30$  min un maintien de fluidité.

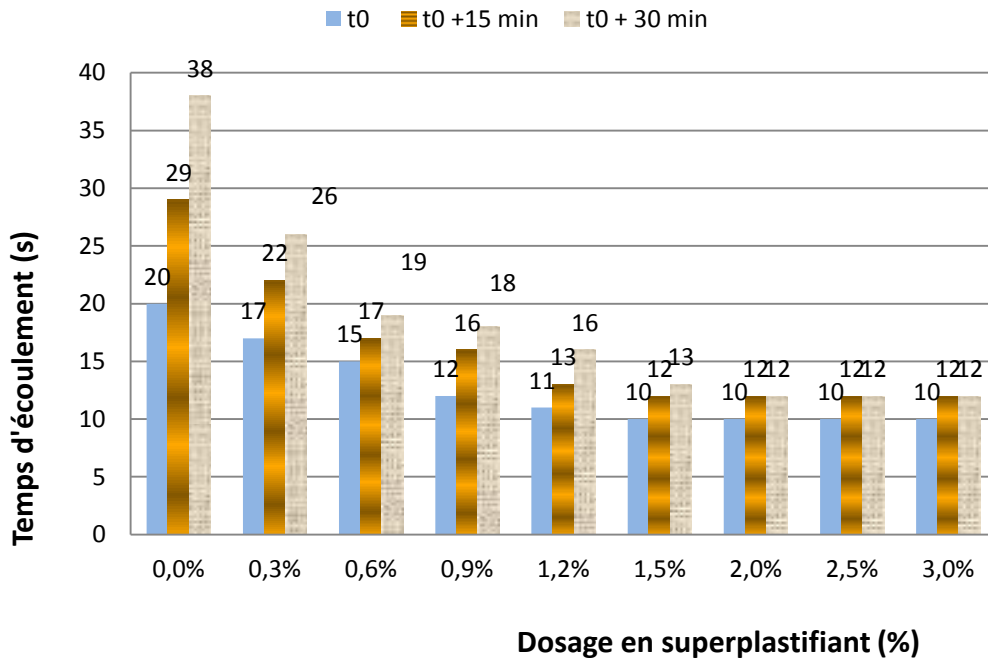


Figure III.6 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP1

On retient de la figure (III.6) :

-Le coulis à base de ciment C2 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.5%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.5% et qui est le degré de saturation de SP1 avec le ciment C2, on obtient à  $t_0$  et à  $t_0+30$  min un maintien de fluidité.

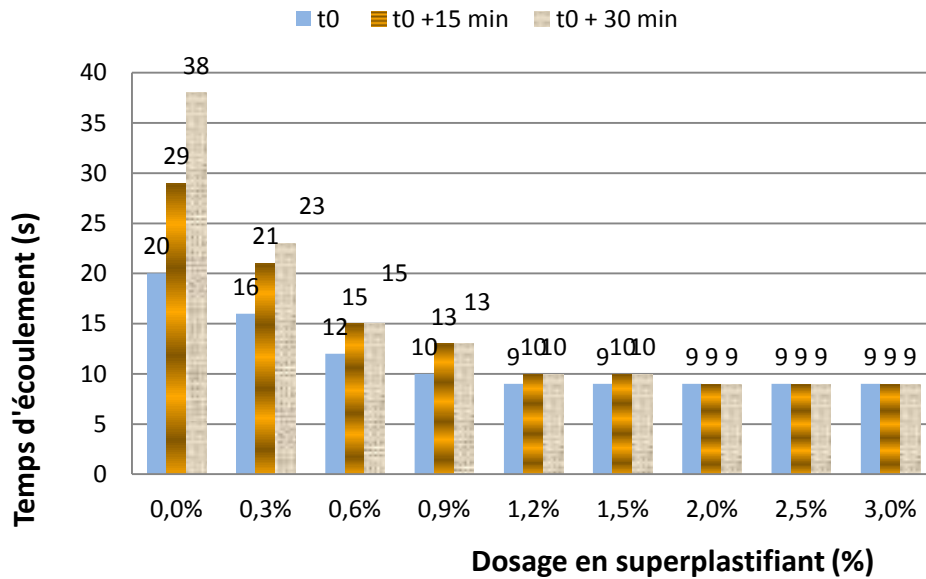


Figure III.7 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP2

On voit de la figure(III.7) :

-Le coulis à base de ciment C2 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.2%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.2% et qui est le degré de saturation de SP2 avec le ciment C2, on obtient à t<sub>0</sub> et à t<sub>0</sub>+30 min un maintien de fluidité.

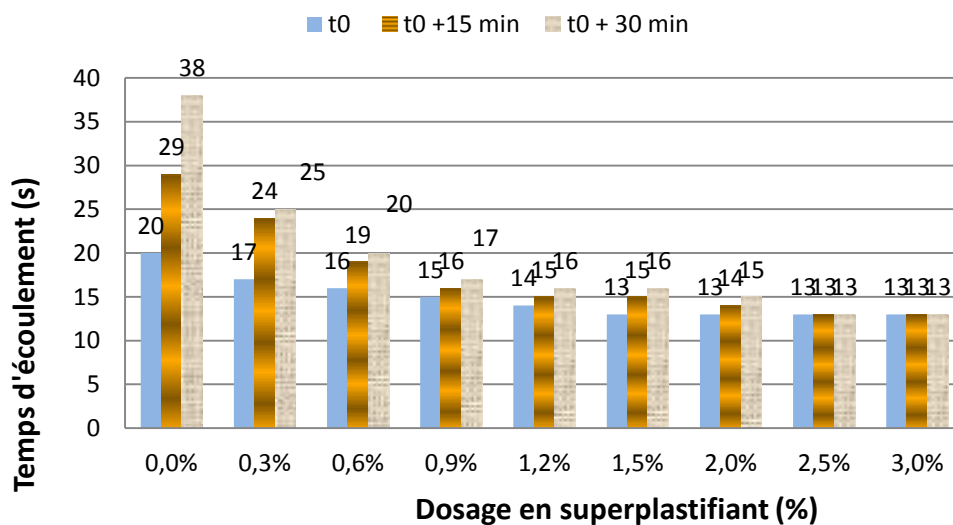


Figure III.8 : Maintien du temps d'écoulement du coulis C2 en fonction du dosage en adjuvant SP3

On remarque de la figure (III.8) que :

-Le coulis à base de ciment C2 sans ajout d'adjuvant ne maintient pas sa fluidité après 30 min de début de malaxage. Avec l'ajout d'un pourcentage d'adjuvant de 0.3% jusqu'à 1.5%, la fluidité augmente considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'adjuvant et elle se maintient aussi après 30 min de début de malaxage.

A partir de 1.5% et qui est le degré de saturation de SP3 avec le ciment C2, on obtient à  $t_0$  et à  $t_0+30$  min un maintien de fluidité.

Des figures (III.3), (III.4), (III.5), (III.6), (III.7) et (III.8) et leurs commentaires, on peut conclure que le maintien du temps d'écoulement des coulis varie avec l'augmentation du dosage des adjuvants. A l'obtention des degrés de saturation des adjuvants, le maintien des temps d'écoulement devient stable. Cela peut être expliqué par le phénomène dispersant des adjuvants dans les grains de ciment.

A des faibles dosages des adjuvants, quelques grains de ciment accumulés, se dispersent en s'enrobant par un film négatif d'adjuvant ce qui retarde un peu l'hydratation de ces grains enrobés ce qui prouve la diminution du temps d'écoulement.

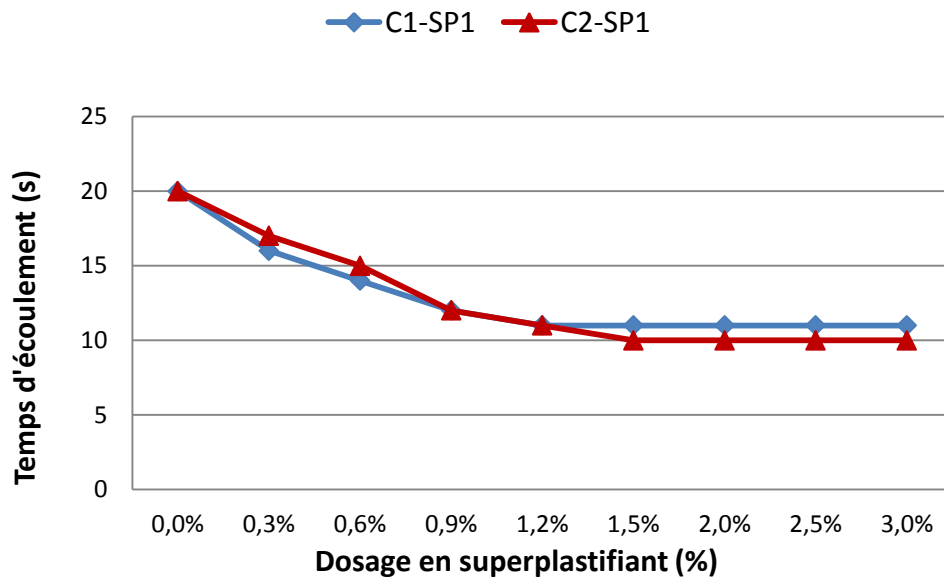
Le phénomène de défloculation a un rapport direct avec la quantité de super-plastifiant, c'est le résultat qui a été montré par Ramachandran [42] et qui résulte que plus la quantité de super-plastifiant est élevée, meilleur est l'effet dispersant.

En arrivant aux degrés de saturation des adjuvants, tous les grains sont enrobés et dispersés les uns aux autres, ce qui retarde beaucoup l'hydratation. C'est pourquoi le maintien du temps d'écoulement a été observé stable avec tous les types d'adjuvant pour des doses  $\geq$  aux degrés de saturation de ceux-ci. Ce qui a été démontré par Aitcin [56] ainsi que par Sakai & al [57].

#### **I-4. Influence de la nature de ciment sur la variation du temps d'écoulement :**

L'influence de la nature du ciment sur la fluidité des coulis avec adjuvants super-plastifiants et leurs interactions peut être analysée en étudiant la variation des temps d'écoulement des coulis C1 et C2 en fonction du dosage de chaque super-plastifiant.

La variation du temps d'écoulement des coulis C1 et C2 en fonction du dosage en super-plastifiant SP1 est représentée par la figure (III.9).



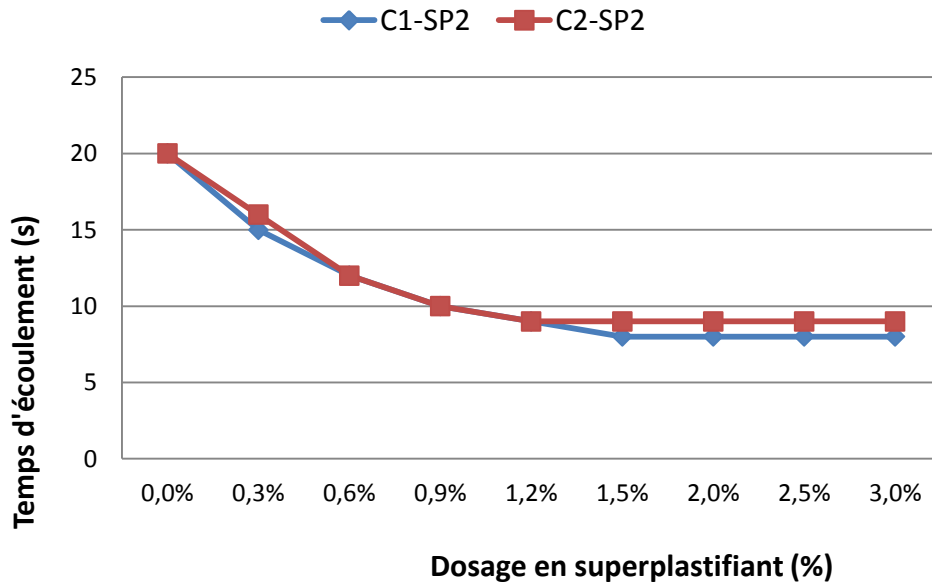
**Figure III.9 : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP1**

De la figure (III.9), on remarque que le degré de saturation de l'adjuvant SP1 en combinant avec le ciment C1 est de 1.2%, par contre son degré de saturation en combinant avec le ciment C2 est de 1.5%. On peut conclure que l'adjuvant SP1 est plus compatible avec le ciment C1 qu'avec le ciment C2.

On déduit aussi de cette figure que le temps d'écoulement du coulis à base de ciment C2 est supérieur à celui du coulis à base de ciment C1 et cela pour un dosage < 1.2%.

Pour un dosage > 1.2%, le temps d'écoulement du coulis à base de ciment C1 est supérieur à celui du coulis à base de ciment C2.

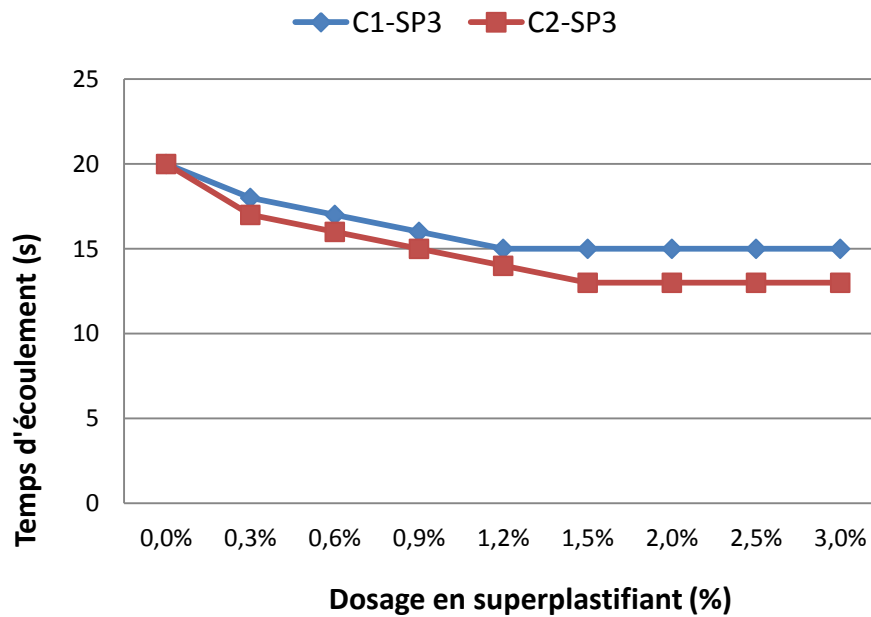
Donc, et pour un dosage < 0.9%, le besoin en eau du coulis à base de ciment C2 est plus grand que celui du coulis à base de ciment C1. Mais pour un dosage > 1.2%, on voit tout à fait le contraire.



**Figure III.10 : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP2**

De la figure (III.10), on a le degré de saturation de l'adjuvant SP2 en combinant avec le ciment C2 est de 1.2%, par contre son degré de saturation en combinant avec le ciment C1 est de 1.5%.

La figure montre aussi que le temps d'écoulement du coulis à base de ciment C2 est supérieur à celui du coulis à base de ciment C1. Donc, l'adjuvant SP2 donne une fluidité des coulis à base de ciment C1 plus grande que celle des coulis à base de ciment C2.



**Figure III.11 : Variation du temps d'écoulement des coulis en fonction du dosage en adjuvant SP3**

De la figure (III.11), on remarque que le degré de saturation de l'adjuvant SP3 en combinant avec le ciment C1 est de 1.2%, par contre son degré de saturation en combinant avec le ciment C2 est de 1.5%.

La figure montre aussi que le temps d'écoulement du coulis à base de ciment C1 est supérieur à celui du coulis à base de ciment C2. Donc, l'adjuvant SP3 donne une fluidité des coulis à base de ciment C1 plus grande que celle des coulis à base de ciment C2.

Des trois figures (III.9), (III.10) et (III.11), on conclue que le degré de saturation des adjuvants dépend de la nature de ciment utilisé qui influe directement sur le choix d'adjuvant le mieux adapté et qui donne au coulis la plus grande fluidité avec un faible dosage de saturation.

Donc, la fluidité des coulis est très liée à la composition des ciments, c'est le résultat que Hallal .A, Ezziane .K., Kadri .A., Kadri E.H [46] ont démontré.

**II- Les essais sur les pâtes de ciment :**

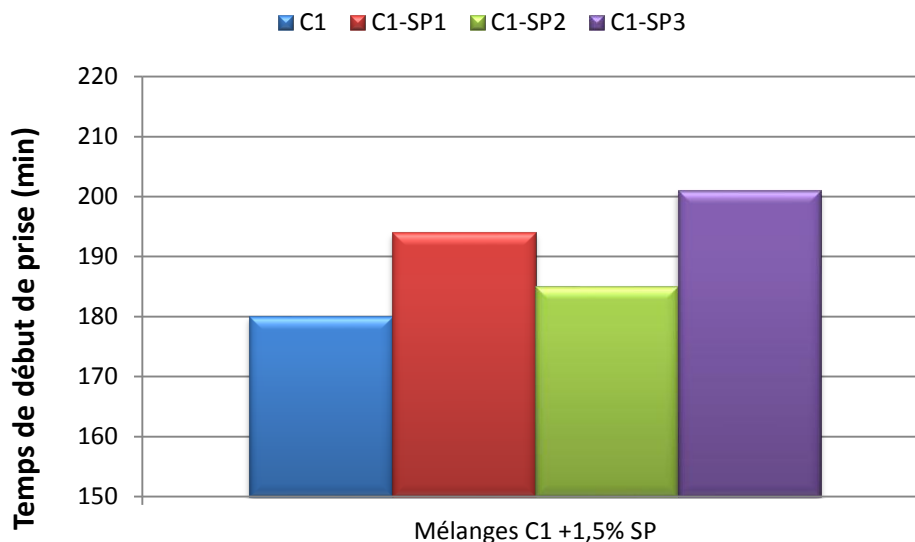
Certains adjuvants super-plastifiants peuvent avoir des effets secondaires sur le processus d’hydratation du ciment et retarder la prise de la pâte. Il est donc important avant l’utilisation de ce type de super-plastifiants de vérifier leur influence sur le temps de début et de fin de prises.

**II-1. Temps de début de prise des pâtes avec adjuvants:**

Dans le paragraphe précédent, on a trouvé que le changement de la nature d’adjuvant change le comportement et le maintien de la fluidité des coulis. On verra si l’incorporation de ces trois adjuvants va changer les temps de prise.

**Tableau III.6 : Variation du temps de début de prise des pâtes P1 à base du ciment C1 en fonction de la nature d’adjuvant**

Pâtes	C1	C1-SP1	C1-SP2	C1-SP3
tdp(min)	180	194	185	201

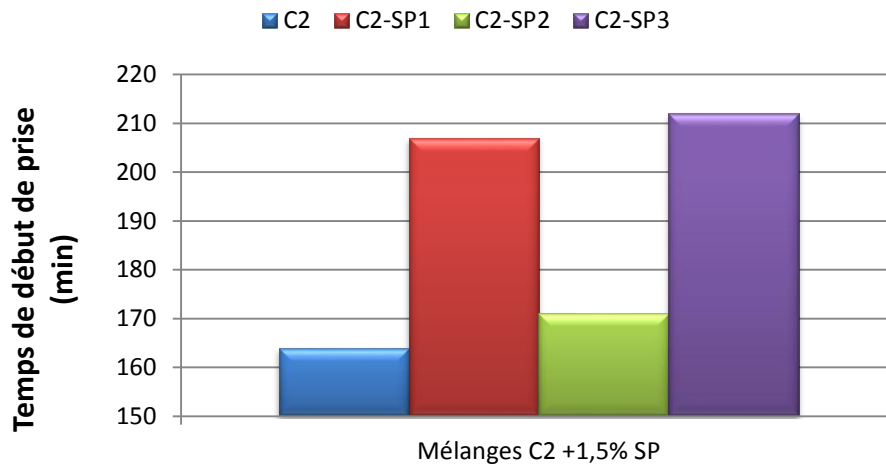


**Figure III.12 : Variation des temps de début de prise pour les pâtes à base de C1 en fonction de la nature d’adjuvant**

De la figure (III.12), on remarque que le temps de début de prise de la pâte de référence P1-0 à base de ciment C1 est de 3h. Par l’ajout de 1.5% de SP1, le temps de début de prise augmente jusqu’à 3h 14min. en ajoutant 1.5% de SP2, le temps de début de prise atteint 3h 05min et arrive jusqu’à 3h 21min avec le SP3.

**Tableau III.7 : Variation du temps de début de prise des pâtes P2 à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant**

Pâtes	C2	C2-SP1	C2-SP2	C2-SP3
tdp (min)	164	207	171	212



**Figure III.13 : Variation des temps de début de prise pour les pâtes à base de C2 en fonction de la nature d'adjuvant**

Dans la figure (III.13), on déduit que la pâte de référence P2-0 à base de ciment C2 atteint un début de prise de 2h 44min, avec l'ajout de 1.5% de SP1, le temps de début de prise augmente allant jusqu'à 3h 27min, et atteint 2h 51min avec le SP2 qu'on obtient ensuite 3h 32 min avec le SP3.

On peut conclure des deux figures (III.12) et (III.13) que :

- Le plastifiant SP3 à base de poly carboxylates modifiés augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C1 de 21 minutes et il augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C2 de 48 minutes.
- Le super-plastifiant SP1 à base de polymères combinés modifiés augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C1 de 14 minutes et il augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C2 de 43 minutes.
- Le super-plastifiant SP2 à base de poly carboxylates d'éther modifiés augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C1 de 05 minutes et il augmente le temps de début de prise des pâtes à base de ciment C2 de 07 minutes.

II-2. Temps de fin de prise des pâtes avec adjuvants :

Tableau III.8 : Variation du temps de fin de prise des pâtes P1 à base du ciment C1 en fonction de la nature d'adjuvant

Pâtes	C1	C1-SP1	C1-SP2	C1-SP3
t <sub>fp</sub> (min)	227	246	237	250

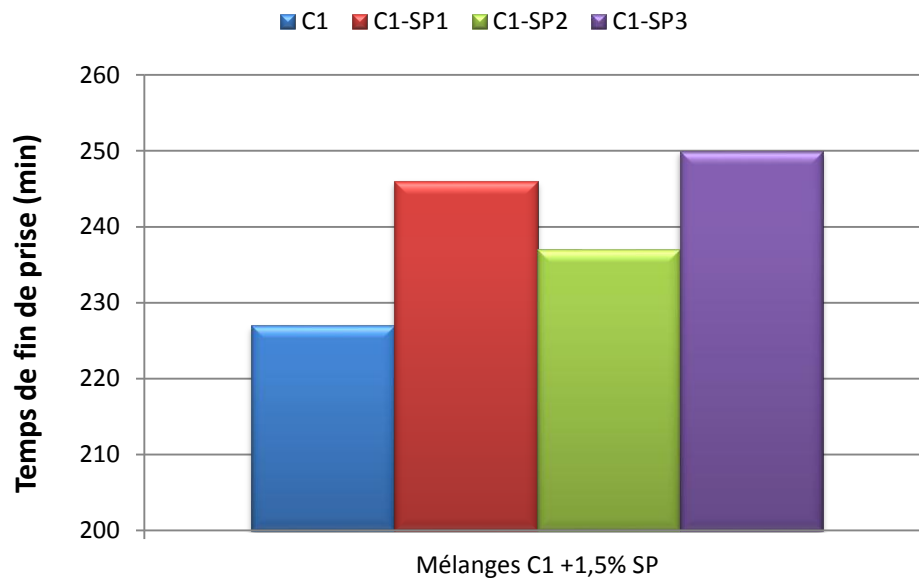
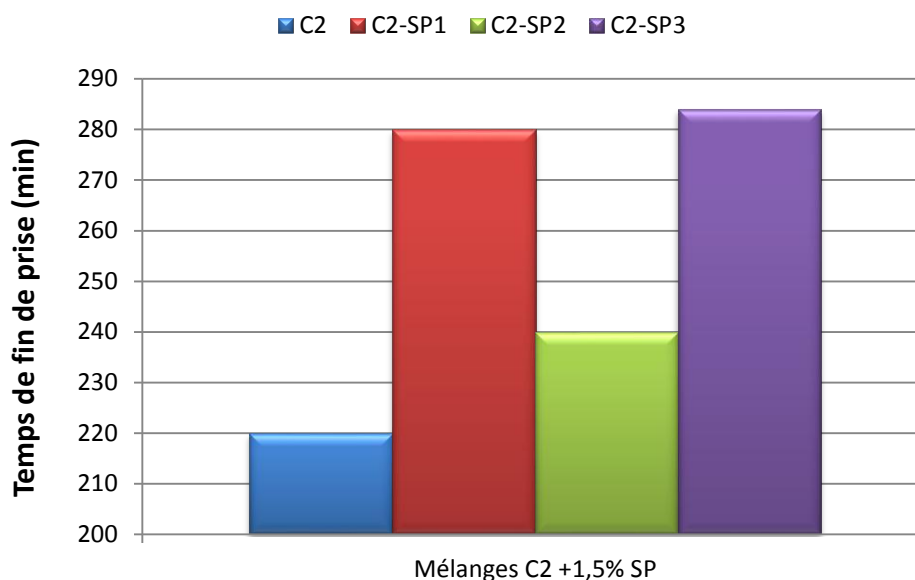


Figure III.14 : Variation des temps de fin de prise pour les pâtes à base de C1 en fonction de la nature d'adjuvant

De la figure (III.14), on remarque que le temps de fin de prise de la pâte de référence P1-0 à base de ciment C1 est de 3h 47min. Par l'ajout de 1.5% de SP1, le temps de fin de prise augmente jusqu'à 4h 06min. en ajoutant 1.5% de SP2, le temps de fin de prise atteint 3h 57min et arrive jusqu'à 4h 10min avec le SP3.

**Tableau III.9 : Variation du temps de fin de prise des pâtes P2 à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant**

Pâtes	C2	C2-SP1	C2-SP2	C2-SP3
tfp (min)	220	280	240	284



**Figure III.15 : Variation des temps de fin de prise pour les pâtes à base de C2 en fonction de la nature d'adjuvant**

Dans la figure (III.15), on déduit que la pâte de référence P2-0 à base de ciment C2 atteint une fin de prise de 3h 40min, avec l'ajout de 1.5% de SP1, le temps de fin de prise augmente allant jusqu'à 4h 40min, et atteint 4h avec le SP2 qu'on obtient ensuite 4h 44 min avec le SP3. On peut conclure des deux figures (III.14) et (III.15) que :

- Le plastifiant SP3 à base de poly carboxylates modifiés augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C1 de 23 minutes et il augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C2 de 1h 4min.
- Le super-plastifiant SP1 à base de polymères combinés modifiés augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C1 de 19 minutes et il augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C2 de 60 minutes.
- Le super-plastifiant SP2 à base de poly carboxylates d'éther modifiés augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C1 de 10 minutes et il augmente le temps de fin de prise des pâtes à base de ciment C2 de 20 minutes.

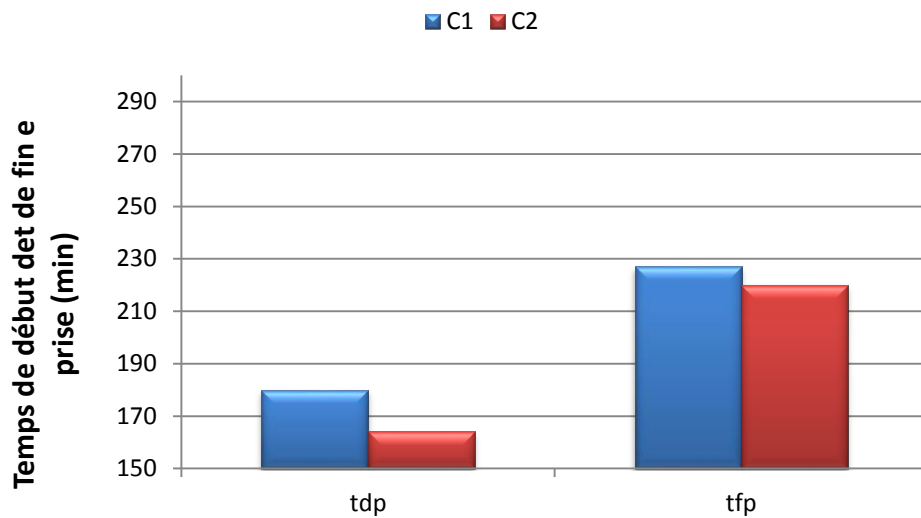
Donc, l'adjuvant SP1 présente comme effet secondaire un retard de prise pour le ciment C2 beaucoup plus que pour le ciment C1, par contre l'adjuvant SP2 ne présente pas d'effet retardateur. En revanche l'adjuvant SP3 augmente le temps de prise pour le ciment C2 beaucoup plus que pour le ciment C1.

**II-3. Influence de la nature de ciment sur les temps de prise des pâtes à une consistance normalisée et sans adjuvants :**

L'influence de la nature du ciment sur les temps de début et de fin de prise des pâtes de ciment de référence peut être analysée en étudiant la prise des pâtes C1 et C2.

**Tableau III.10 : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et sans ajout d'adjuvant**

Pâtes	C1	C2
Tdp (min)	180	164
Tfp (min)	227	220



**Figure III.16 : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes sans adjuvants en fonction de la nature du ciment**

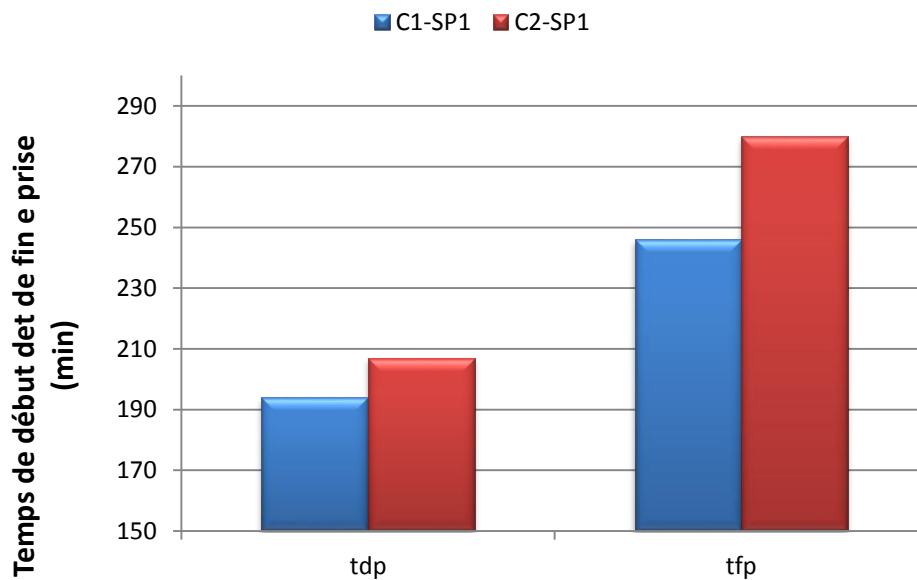
Les pâtes de référence à base de ciment C1 avec un besoin en eau de 0.25 atteignent un début de prise de 3h et une fin de prise de 3h 47min par contre les pâtes à base de C2 avec un rapport E/C de 0.26 aboutissent à un début de prise de 2h 44min et à une fin de prise de 3h 40min.

**II-4. Influence de la nature de ciment sur les temps de prise des pâtes à une consistance normalisée et avec adjuvants :**

L'influence de la nature du ciment sur les temps de début et de fin de prise des pâtes de ciment avec adjuvants peut être analysée en étudiant la prise des pâtes C1 et C2 avec chaque super-plastifiant.

**Tableau III.11 : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP1**

Pâtes	C1	C2
<b>Tdp (min)</b>	194	207
<b>Tfp (min)</b>	246	280

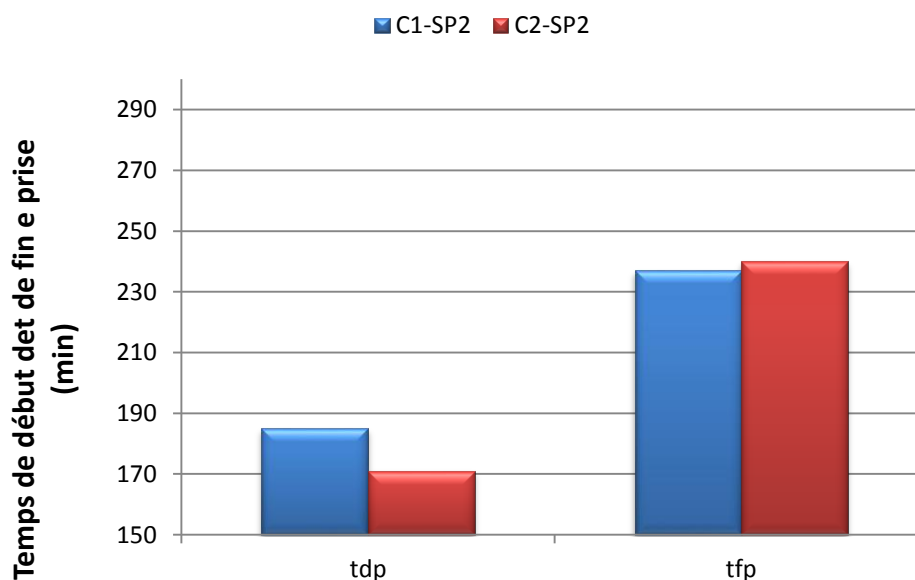


**Figure III.17 : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP1**

Avec un ajout de 1.5% de SP1, les pâtes à base de ciment C1 atteignent un début de prise de 3h 14min et une fin de prise de 4h 06min par contre les pâtes à base de C2 aboutissent à un début de prise de 3h 27min et à une fin de prise de 4h 40min.

**Tableau III.12 : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP2**

Pâtes	C1	C2
<b>Tdp (min)</b>	185	171
<b>Tfp (min)</b>	237	240

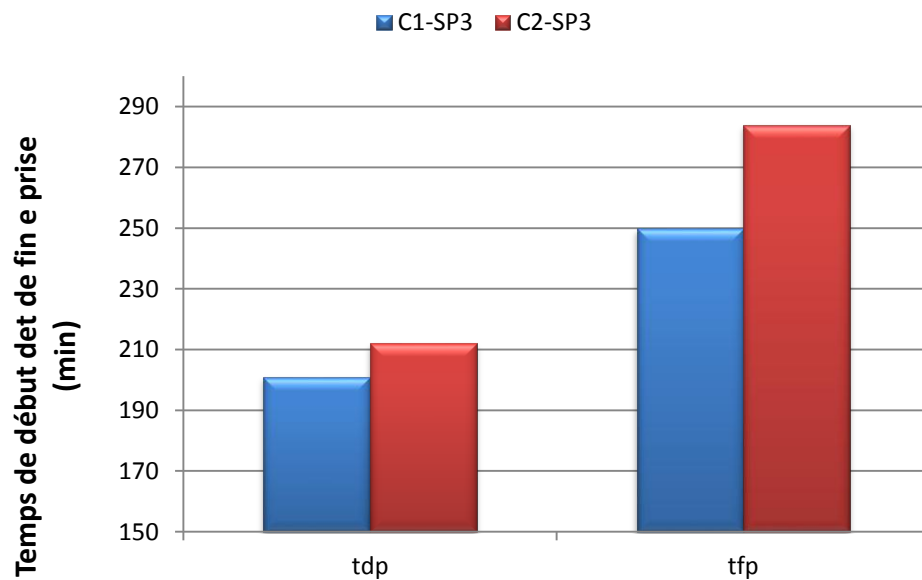


**Figure III.18 : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP2**

Avec un ajout de 1.5% de SP2, les pâtes à base de ciment C1 atteignent un début de prise de 3h 05min et une fin de prise de 3h 57min par contre les pâtes à base de C2 aboutissent à un début de prise de 2h 51min et à une fin de prise de 4h.

**Tableau III.13 : Variation du temps de début et fin de prise des pâtes P1 et P2 à base des ciments C1 et C2 à même consistance et avec ajout d'adjuvant SP3**

	C1	C2
Temps du début de prise	201	212
Temps du fin de prise	250	284



**Figure III.19 : Variation des temps de début et de fin de prise des pâtes en fonction de la nature du ciment et avec 1.5% de SP3**

Avec un ajout de 1.5% de SP3, les pâtes à base de ciment C1 atteignent un début de prise de 3h 21min et une fin de prise de 4h 10min par contre les pâtes à base de C2 aboutissent à un début de prise de 3h 32min et à une fin de prise de 4h 44min.

On peut remarquer que le besoin en eau des pâtes de référence à base de ciment C2 est plus élevé que celui des pâtes à base de ciment C1 mais ils font un début et une fin de prise avant les pâtes à base de ciment C1 et cela dû à la différence de la finesse des deux ciments car le ciment C2 a une grande finesse par rapport au ciment C1 c'est pourquoi il demande beaucoup d'eau pour une consistance normalisée. Et vu aussi la caractéristique R à durcissement rapide du ciment C2, il fait prise avant le ciment C1. Ceci est expliqué par la surface disponible à l'hydratation pour les ciments de plus grande finesse tel que le ciment C2 ainsi que le taux de  $C_3S$  qui réagit plus rapidement et influe sur la vitesse des réactions d'hydratation du ciment.

Hanna & al [40] ont démontré aussi que l'effet fluidifiant est plus faible quand l'état de la finesse Blaine du ciment est élevée.

Donc la nature des ciments influe beaucoup sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment.

### **III- Synthèse :**

Dans ce chapitre, on a évalué les paramètres influant sur les propriétés rhéologiques des coulis et des pâtes de ciment, tels que la nature et le dosage des différents adjuvants utilisés et la nature de ciment, en utilisant :

-Pour les coulis, des essais d'écoulement par le cône de Marsh en fixant tous les composants des coulis (quantités des ciments et eau) et on ne fait varier que la nature et le dosage des trois adjuvants pour les deux coulis à base des deux ciments.

-Pour les pâtes de ciment, des essais de début et de fin de prise ont été effectués avec l'appareil de Vicat après avoir aboutit à la consistance normalisée. Pour arriver à cette dernière en fixant la quantité de ciment, la quantité d'eau varie avec la variation de la nature du ciment utilisé ainsi avec l'ajout et le changement des adjuvants.

Les résultats obtenus dans ce chapitre sont les suivants :

- ✓ Le degré de saturation des adjuvants dépend de la nature de ciment utilisé qui influe directement sur le choix d'adjuvant le mieux adapté et qui donne au coulis la plus grande fluidité avec un faible dosage de saturation :
- Le degré de saturation de l'adjuvant SP1 en combinant avec le ciment C1 est de 1.2% par contre son degré en combinant avec le ciment C2 est de 1.5%.
- Le degré de saturation de l'adjuvant SP2 en combinant avec le ciment C1 est de 1.5% par contre son degré en combinant avec le ciment C2 est de 1.2%.
- Le degré de saturation de l'adjuvant SP3 en combinant avec le ciment C1 est de 1.2% par contre son degré en combinant avec le ciment C2 est de 1.5%.
- ✓ La nature de l'adjuvant influe et beaucoup sur la fluidité et le maintien d'écoulement des coulis. Ce dernier varie avec l'augmentation du dosage des adjuvants. A l'obtention des degrés de saturation des adjuvants, le maintien des temps d'écoulement devient stable.
- ✓ L'incorporation des adjuvants dans les coulis retarde l'hydratation.
- ✓ L'adjuvant super-plastifiant SP2 de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés augmente la fluidité plus fort que l'adjuvant super-plastifiant SP1 à base des polymères combinés. En revanche, l'adjuvant plastifiant de la nouvelle génération à base de poly carboxylates modifiés améliore la fluidité mais par un degré moins que les deux autres adjuvants.
- ✓ l'adjuvant SP1 présente comme effet secondaire un retard de prise pour le ciment C2 beaucoup plus que pour le ciment C1, par contre l'adjuvant SP2 ne présente pas d'effet

retardateur. En revanche l'adjuvant SP3 augmente le temps de prise pour le ciment C2 beaucoup plus que pour le ciment C1.

- ✓ l'effet fluidifiant est plus faible quand l'état de la finesse Blaine du ciment est élevé et le ciment qui apporte la caractéristique R à durcissement rapide fait prise avant le ciment à durcissement normal. Donc, la nature des ciments influe beaucoup sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment.

## CHAPITRE IV

### ACTIONS DES SUPER-PLASTIFIANTS SUR LES MORTIERS

#### Introduction :

Pour atteindre l'objectif visé par l'étude, nous avons mesuré tous les paramètres qui caractérisent les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers et nous nous sommes particulièrement intéressés aux propriétés suivantes:

- Le besoin en eau des mortiers à même consistance.
- La résistance en compression des mortiers à même consistance et à différentes échéances.

Le travail expérimental a été conduit en considérant deux types de ciments couramment utilisés à l'Est Algérien, afin d'étudier l'effet de la nature du ciment sur les propriétés des mortiers, avec trois types d'adjuvants pour connaître l'influence des différents adjuvants sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers.

Pour les besoins de l'étude des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des mortiers avec adjuvants, nous avons réalisés pour les deux ciments, 26 formulations, qui ont été testées sur la table à secousses pour mortiers pour conférer au mélange la consistance de référence. Chaque formulation a nécessité au moins trois gâchées pour atteindre la consistance de référence.

Pour chaque formulation, nous avons confectionné 18 éprouvettes (50 mm x 50 mm x 50 mm) qui ont été testés en compression à 01 jour, 02 jours, 03 jours, 07 jours, 14 jours et 28 jours. 03 éprouvettes par échéance, ce qui a entraîné 468 essais de compression.

#### I-Confection des mortiers de référence :

La composition du mortier de référence sans adjuvants a été inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1, avec une quantité d'eau ajustée afin d'obtenir une consistance de référence.

Les procédures suivies pour la préparation des mortiers, la confection des éprouvettes, de stockage, et les mesure des résistances en compression ont été réalisées conformément à la norme EN 196-1 comme il a été exposé dans le chapitre II.

La vérification de la consistance de référence a été réalisée conformément à la méthodologie exposée dans le chapitre II.

Un mortier de référence M1 a été confectionné pour le ciment C1 : CPJ-CEM II 42.5 et un deuxième mortier de référence M2, pour le ciment C2 : CPJ-CEM II 42.5 R, en fixant la quantité de ciment égal au 1/3 de la quantité de sable et une quantité d'eau qui a été ajustée jusqu'à l'obtention de la consistance de référence qui a été choisie égale à un étalement de 115 mm sur la table à secousses pour mortiers, correspondant à une consistance plastique convenable aux conditions de mise en œuvres.

Pour un étalement de 115 mm et en fixant les quantités de ciment et de sable et en fait varier seulement la quantité d'eau, on arrive à la courbe suivante :

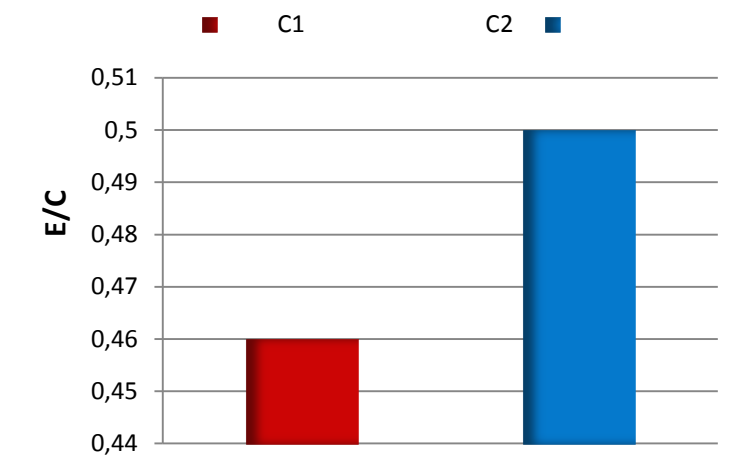


Figure IV.1 : Besoin en eau des mortiers de référence C1 et C2

On remarque de la figure (IV.1) que le besoin en eau du mortier M2 à base de ciment C2 est supérieur que celui du mortier M1 à base de ciment C1. On peut expliquer ce comportement par la différence des finesses des deux ciments, car le ciment C2 a une finesse de  $4526 \text{ cm}^2/\text{g}$  est supérieure à celle du ciment C1 qui est égale à  $3810 \text{ cm}^2/\text{g}$ , et aussi on a le module de finesse du ciment C2 qui est inférieur au module de finesse du ciment C1, ce qui veut dire que le ciment C2 est plus fin que le ciment C1, ce qui explique la différence des besoins en eau.

Donc, une surface spécifique plus grande du ciment engendre un besoin en eau plus grand pour un étalement de référence constant.

**II- Besoin en eau des mortiers avec adjuvants à même consistance :**

Le besoin en eau des mortiers avec adjuvants à même consistance peut être étudié en analysant l'influence de la nature et du dosage d'adjuvant sur le besoin en eau des mortiers à base des deux ciments C1 et C2. Tous les paramètres de formulation sont fixés tels que les ciments, les sables et on ne fait varier que la quantité d'eau pour obtenir un étalement constant de référence. On obtient la variation du besoin en eau des mortiers en fonction de la nature et de la quantité des trois adjuvants qui est exprimé comme suit :

**Tableau IV.1 : le besoin en eau des deux mortiers avec adjuvants à même consistance**

$M_{cn, adj\%}$	E/C		
	SP1	SP2	SP3
$M_{c1, 0\%}$	0.46	0.46	0.46
$M_{c1, 0.9\%}$	0.42	0.38	0.43
$M_{c1, 1.2\%}$	0.39	0.36	0.41
$M_{c1, 1.5\%}$	0.37	0.32	0.38
$M_{c1, 2\%}$	0.36	0.30	0.37
$M_{c2, 0\%}$	0.50	0.50	0.50
$M_{c2, 0.9\%}$	0.44	0.42	0.45
$M_{c2, 1.2\%}$	0.40	0.37	0.42
$M_{c2, 1.5\%}$	0.38	0.34	0.39
$M_{c2, 2\%}$	0.37	0.32	0.38

Les variations du besoin en eau des mortiers C1 et C2 avec les divers super-plastifiants en fonction du dosage en adjuvant sont représentées par les figures suivantes :

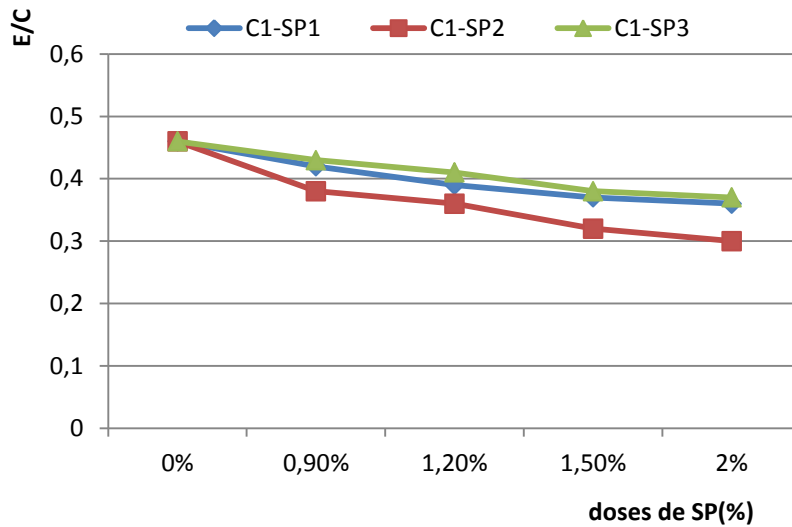


Figure IV.2 : Variation du besoin en eau du mortier à base de ciment C1 à même consistance en fonction de la nature et du dosage en adjuvant

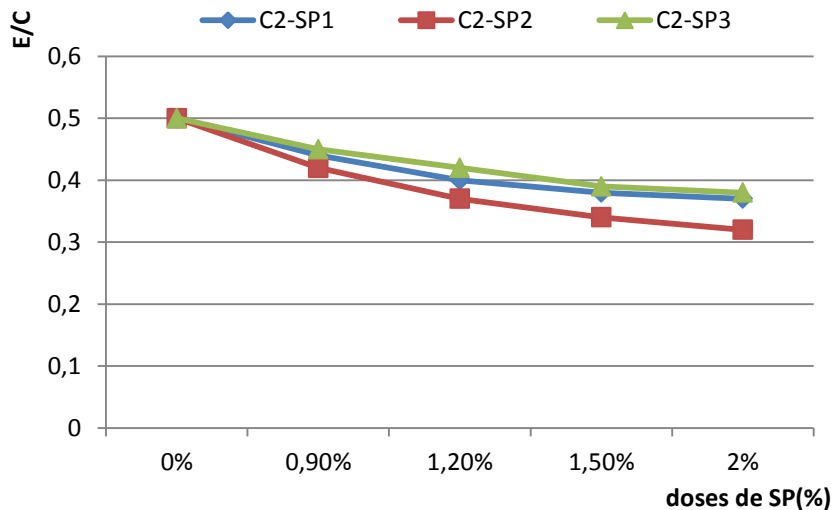


Figure IV.3 : Variation du besoin en eau du mortier à base de ciment C2 à même consistance en fonction de la nature et du dosage en adjuvant

Les figures (IV.2) et (IV.3) montrent que l'ajout d'adjuvant conduit à une diminution de la quantité d'eau pour les deux types de mortiers à la même consistance de référence. Mais aussi on remarque que la diminution d'eau pour un seul type de mortier change avec le changement de type d'adjuvant. Plus la quantité d'adjuvant augmente plus le besoin en eau diminue.

La diminution du besoin en eau pour les mortiers avec adjuvant SP2 est plus forte que celle des mortiers avec adjuvant SP1, cette dernière est plus forte que la diminution du besoin en eau pour les mortiers avec adjuvant SP3.

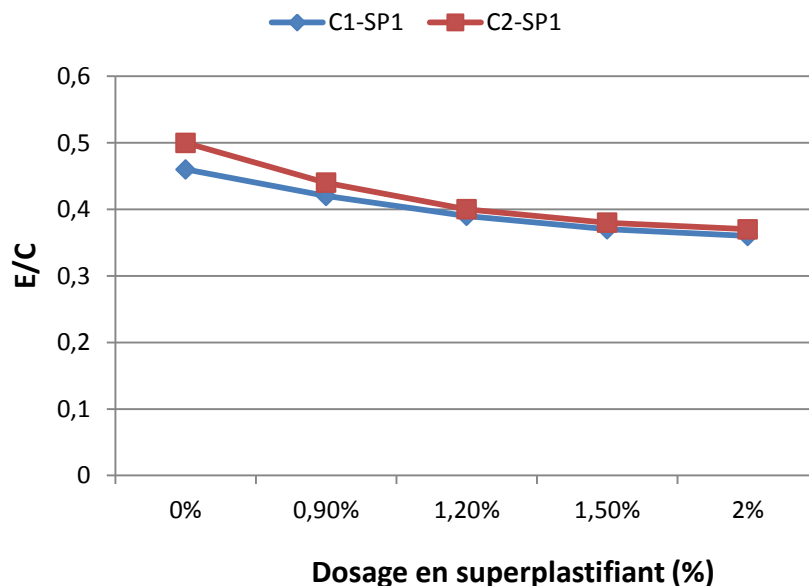
Il résulte donc que la nature d'adjuvant influe sur le besoin en eau des mortiers à une même consistance de référence.

À même consistance, l'adjuvant super-plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés SP2 diminue la quantité d'eau des mortiers plus que l'adjuvant super-plastifiant à base de polymères combinés SP1. La réduction d'eau de ces deux adjuvants est plus forte que celle de l'adjuvant SP3 qui est un adjuvant plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés.

### **III-Influence de la nature de ciment sur le besoin en eau des mortiers avec adjuvants à même consistance:**

L'ajout d'une quantité d'adjuvant de différentes natures aux mortiers engendre une réduction d'eau du mélange frais pour garder le même étalement de référence.

La variation de la réduction d'eau, qui est exprimée par E/C, pour les mortiers à base des ciments C1 (CPJ-CEM II 42.5) et C2 (CPJ CEM II 42.5 R) en fonction des différentes doses des différents adjuvants SP1, SP2 et SP3 est représentée par les figures suivantes :



**Figure IV.4 : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP1**

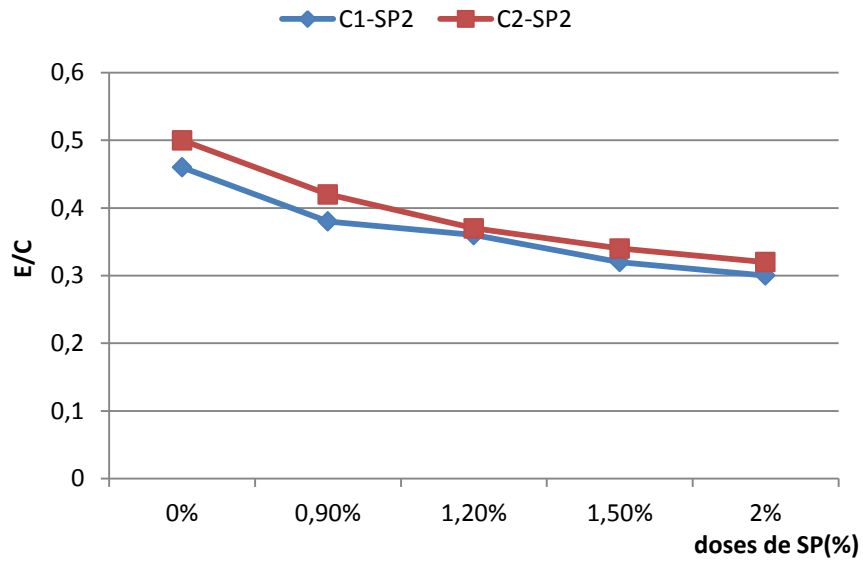


Figure IV.5 : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP2

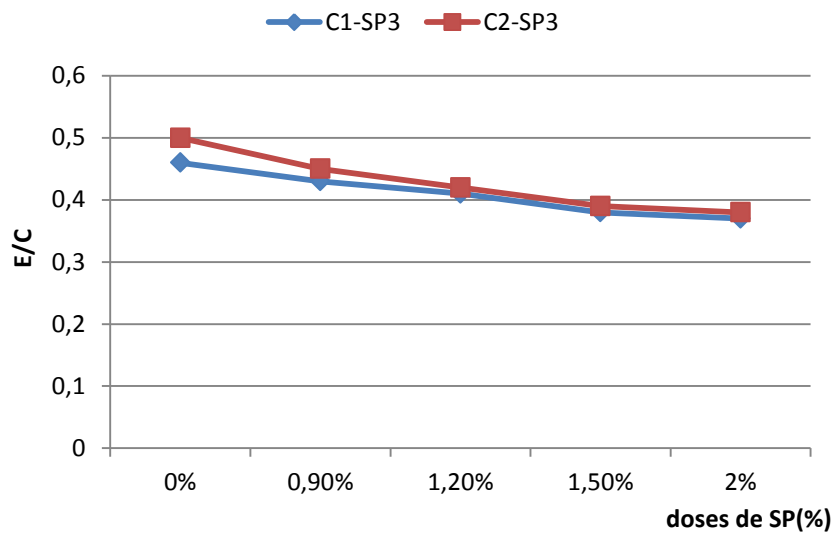


Figure IV.6 : Variation du besoin en eau des mortiers C1 et C2 en fonction de la nature de ciment et du dosage en adjuvant SP3

On remarque que le besoin en eau du mortier M2 avec adjuvants est toujours supérieur à celui du mortier M1 quelque soit la nature et le dosage en adjuvant.

Le besoin en eau du mortier de référence M2 est supérieur de 4% par rapport à celui du mortier de référence M1.

Avec l'introduction d'adjuvant, on remarque que le besoin en eau du mortier M2 avec les trois types d'adjuvant SP1, SP2, SP3 l'écart en besoin en eau est réduit jusqu'à 1 % avec l'augmentation du dosage en super-plastifiant.

Ceci peut être expliqué par la différence de finesse des deux ciments utilisés, car une finesse plus importante signifie une surface spécifique plus importante ce qui engendre un besoin en eau plus important pour une même consistance de référence.

**IV- Résistance en compression des mortiers de référence à même consistance :**

On a vu dans le paragraphe précédent que l'ajout d'adjuvant de n'importe quelle nature engendre une diminution du besoin en eau, donc influe sur le comportement rhéologique des mortiers, ainsi la nature de ciment a une grande influence sur le besoin en eau des mortiers.

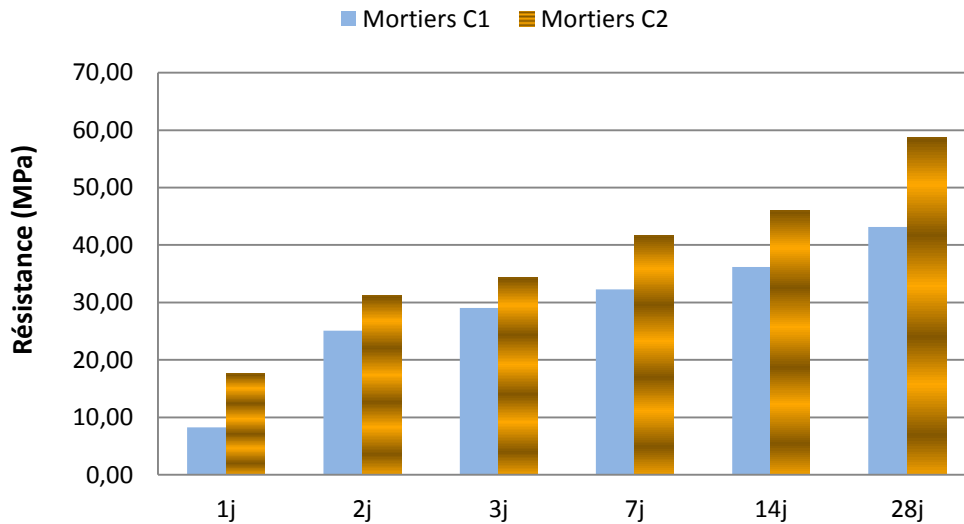
Après avoir atteint l'étalement de référence les gâchées, seront moulés dans des moules de (5\*5\*5) cm<sup>3</sup> conformément à la méthodologie indiquée dans le chapitre II pour avoir des éprouvettes cubiques prêtes aux écrasements à 1, 2, 3, 7, 14 et 28 jours.

Les résistances en compression des deux mortiers de référence M1-0 et M2-0 à toutes les échéances, sont représentées comme suit :

**Tableau IV.2 : Evolution des résistances en compression des mortiers de référence.**

<b>Rcj</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>7j</b>	<b>14j</b>	<b>28j</b>
<b>Mortier C1</b>	8,27	25,07	29,07	32,27	36,20	43,13
<b>Mortier C2</b>	17,60	31,20	34,40	41,75	46,00	58,80

L'évolution des résistances des mortiers de référence peut être représentée par la figure (IV.7).



**Figure IV.7 : Evolution des résistances des mortiers de référence à même consistance**

Nous remarquons que le mortier de référence C2 développe des résistances en compression plus importantes que celles du mortier de référence C1 à toutes les échéances.

- A 1 jour, la résistance du mortier M2 atteint 213 % de la résistance du mortier M1.
- A 02 et 03 jours, la résistance du mortier M2 atteint 124% et 118% de la résistance du mortier M1, respectivement.
- A 07 et 14 jours, la résistance du mortier M2 atteint 129% et 127% de la résistance du mortier M1, respectivement.
- A 28 jours, la résistance du mortier M2 atteint 142% de la résistance du mortier M1.

Cette différence de comportement peut être expliquée par ce qui suit :

- Le taux de  $C_3S$  du ciment C2, qui est égal à 74.23%, est supérieur à celui du ciment C1, qui est égal à 55.50%.
- La classe du deuxième ciment utilisé est de classe rapide par contre celui du ciment C1 est de classe normale.
- La surface spécifique du ciment C2 (4526  $cm^2/g$ ) est supérieure à celle du ciment C1 (3810  $cm^2/g$ ).
- Le module de finesse de C2 (7.6%) est inférieur à celui de C1 (20.8%).

On sait que l'Alite ( $C_3S$ ) donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges. En plus, la classe R (rapide) donne une augmentation des résistances aux jeunes âges. De plus la finesse plus importante du ciment C2 va permettre une hydratation plus rapide et plus totale du ciment anhydre.

**V-Résistances en compression des mortiers avec adjuvants à même consistance :**

L'influence de la nature d'adjuvant sur la résistance des mortiers à même consistance peut être évaluée en étudiant la variation des résistances en compression des mortiers à même consistance et à différentes échéances en fonction de la nature et du dosage en adjuvants et en fixant tous les autres paramètres. Pour chaque adjuvant, l'augmentation de la quantité d'adjuvant engendre une réduction de la quantité d'eau dans les mortiers à même consistance. Les résistances en compression des mortiers M1 avec adjuvants à même consistance peuvent être récapitulées dans les tableaux suivants :

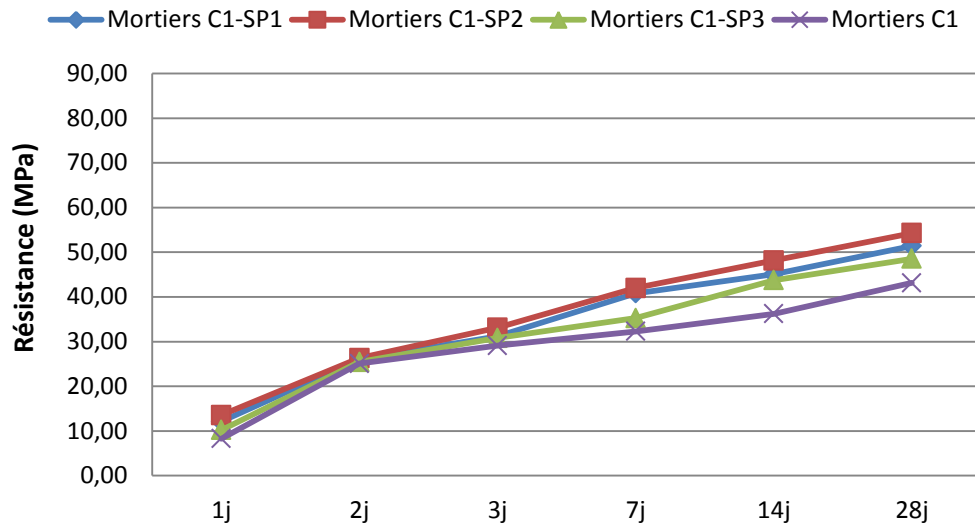
**Tableau IV.3 : Résistances en compression des mortiers M1 avec adjuvants à même consistance**

Mortiers C1-SP1						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP1					
0%	8,27	25,07	29,07	32,27	36,20	43,13
0,90%	12,10	26,02	31,20	40,80	45,07	51,40
1,20%	14,98	26,57	33,93	46,20	51,00	62,80
1,50%	16,00	27,00	35,12	51,27	55,34	67,75
2%	20,00	30,54	39,06	53,00	61,86	71,34

Mortiers C1-SP2						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP2					
0%	8,27	25,07	29,07	32,27	36,20	43,13
0,90%	13,54	26,30	33,10	42,00	48,15	54,28
1,20%	15,00	27,25	35,10	49,25	52,30	64,00
1,50%	18,30	28,96	37,00	52,22	58,66	69,71
2%	21,00	32,54	40,54	56,24	67,54	80,25

Mortiers C1-SP3						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP3					
0%	8,27	25,07	29,07	32,27	36,20	43,13
0,90%	10,22	25,45	30,80	35,26	43,73	48,54
1,20%	11,50	26,53	32,49	41,40	47,20	52,80
1,50%	13,54	26,80	34,05	46,25	52,40	60,68
2%	18,57	27,67	36,51	48,20	56,00	67,31

La variation des résistances en fonction de la nature de l'adjuvant pour un dosage de 0.9% peut être représentée par la figure suivante :

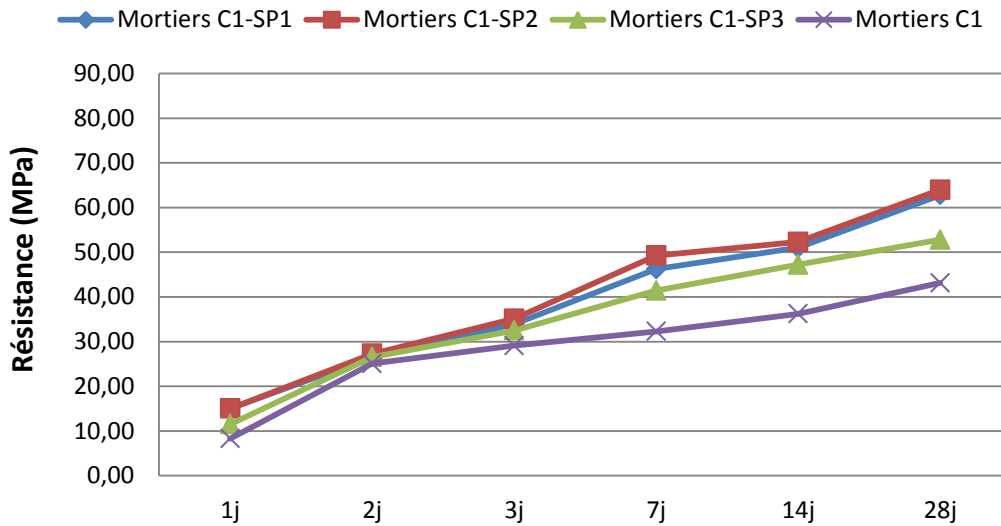


**Figure IV.8 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 0.9% à même consistance**

Nous pouvons remarquer que les résistances en compression des mortiers C1-SP2 sont toujours supérieures aux résistances des autres mortiers à toutes les échéances. Les mortiers C1 présentent les plus faibles résistances en compression à toutes les échéances, alors que les mortiers C1-SP1 et C1-SP3 présentent un comportement intermédiaires avec de meilleures résistances pour les mortiers C1-SP1 à toutes les échéances.

Le gain relatif de résistance par rapport au mortier de référence C1 est maximal à 1 jour, se réduit aux échéances de 2 et 3 jours puis croit à partir de 7 jours. En effet le gain relatif de résistance apporté par l'ajout de 0.9 % de super-plastifiant SP1 est de l'ordre de 21 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 46 % à 1 jour. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 29 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 64 % à 1 jour. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 12 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 24 % à 1 jour.

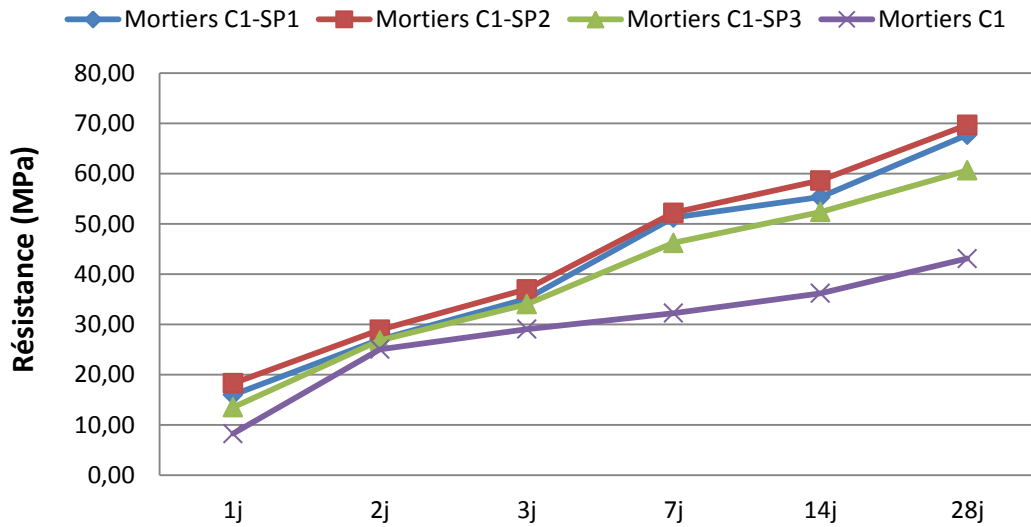
La variation des résistances en fonction de la nature de l'adjuvant pour un dosage de 1.2% peut être représentée par la figure suivante :



**Figure IV.9 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.2% à même consistance**

Nous pouvons remarquer que le comportement des résistances en compression des mortiers avec adjuvants avec un dosage de 1.2 % est globalement similaire que celui avec un dosage de 0.9 % avec des gains de résistances plus importants.. Le gain relatif de résistance apporté par l'ajout de 1.2 % de super-plastifiant SP1 est de l'ordre de 39 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 81 % à 1 jour. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 43 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 81 % à 1 jour. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 23 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 39 % à 1 jour.

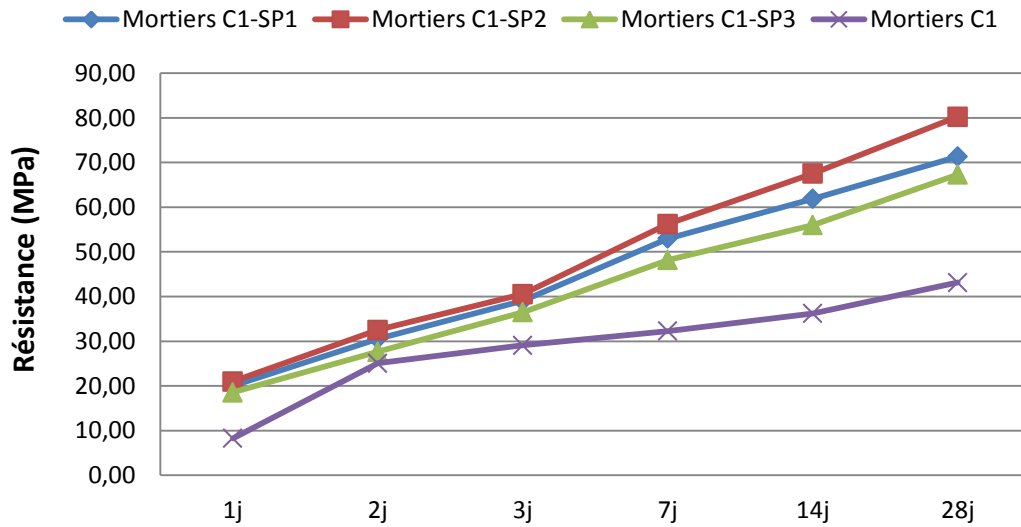
La variation des résistances en fonction de la nature de l'adjuvant pour un dosage de 1.5% peut être représentée par la figure suivante :



**Figure IV.10 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.5% à même consistance**

Le comportement des résistances en compression des mortiers avec adjuvants avec un dosage de 1.5 % est globalement similaire que celui avec un dosage de 0.9 et 1.2% avec des gains de résistances beaucoup plus importants. Le gain relatif de résistance apporté par l'ajout de 1.5 % de super-plastifiant SP1 est de l'ordre de 48 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 93 % à 1 jour. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 58 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 121 % à 1 jour. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 36 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 64 % à 1 jour.

La variation des résistances en fonction de la nature de l'adjuvant pour un dosage de 2% peut être représentée par la figure suivante :



**Figure IV.11 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C1 en fonction des trois adjuvants à une dose de 2% à même consistance**

Le comportement des résistances en compression des mortiers avec adjuvants avec un dosage de 2 % est globalement similaire aux autres avec des gains de résistances beaucoup plus importants. Le gain relatif de résistance apporté par l'ajout de 2 % de super-plastifiant SP1 est de l'ordre de 66 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 142 % à 1 jour. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 78 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 154 % à 1 jour. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 53 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport maximal de 125 % à 1 jour.

Nous pouvons donc conclure que les résistances en compression des mortiers C1-SP2 sont toujours supérieures aux résistances des autres mortiers à toutes les échéances. Les mortiers C1 présentent les plus faibles résistances en compression à toutes les échéances, alors que les mortiers C1-SP1 et C1-SP3 présentent un comportement intermédiaires avec de meilleures résistances pour les mortiers C1-SP1 à toutes les échéances.

Le gain relatif de résistance par rapport au mortier de référence C1 est d'autant plus important que le dosage en super-plastifiant est grand et il maximal à 1 jour. En effet, avec 2 % d'adjuvant super-plastifiant le gain relatif de résistance apporté à 1 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et Sp3 peut atteindre 142%, 154% et 125%, respectivement. Le gain

relatif de résistance apporté à 28 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et Sp3 peut atteindre 66%, 78% et 53%.

Cet apport peut être expliqué d'une part par la réduction du besoin en eau qui est plus importante pour le super-plastifiant SP2 de nouvelle génération à base de poly-carboxylates d'éther modifié. Mais la différence des gains relatifs de résistances entre 1 jour et 28 jours permet d'avancer que les super-plastifiants utilisés ont pu intervenir dans le processus d'hydratation à très court terme ce qui a permis des gains relatifs de résistances beaucoup plus importants. Ce processus ne s'est pas prolongé à 2 jours et 03 jours.

Les résistances en compression des mortiers M2 avec adjuvants à même consistance peuvent être récapitulées dans les tableaux suivants :

**Tableau IV.4 : Résistances en compression des mortiers M2 avec adjuvants à même consistance**

Mortiers C2-SP1						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP1					
0%	17,60	31,20	34,40	41,75	46,00	58,80
0,90%	18,80	31,45	36,50	49,00	54,45	67,60
1,20%	20,40	32,40	38,54	52,00	56,20	71,35
1,50%	21,56	33,15	40,87	54,80	64,00	75,80
2%	23,07	34,40	44,62	57,80	68,00	81,00

Mortiers C2-SP2						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP2					
0%	17,60	31,20	34,40	41,75	46,00	58,80
0,90%	19,78	32,30	41,80	50,25	57,10	69,00
1,20%	21,50	33,70	42,53	53,20	60,88	73,00
1,50%	22,21	35,57	43,90	55,47	66,10	77,64
2%	24,80	36,10	49,20	63,00	73,80	83,00

Mortiers C2-SP3						
Jour	1j	2j	3j	7j	14j	28j
SP	SP3					
0%	17,60	31,20	34,40	41,75	46,00	58,80
0,90%	18,00	31,35	35,65	47,20	54,60	61,65
1,20%	18,60	32,00	38,10	51,35	56,10	63,07
1,50%	19,50	32,70	41,00	53,04	59,00	67,53
2%	22,30	33,10	43,20	56,53	67,53	78,03

Les variations des résistances des mortiers M2 avec adjuvants en fonction de la nature de l'adjuvant pour les divers dosages peuvent être représentées par les figures suivantes :

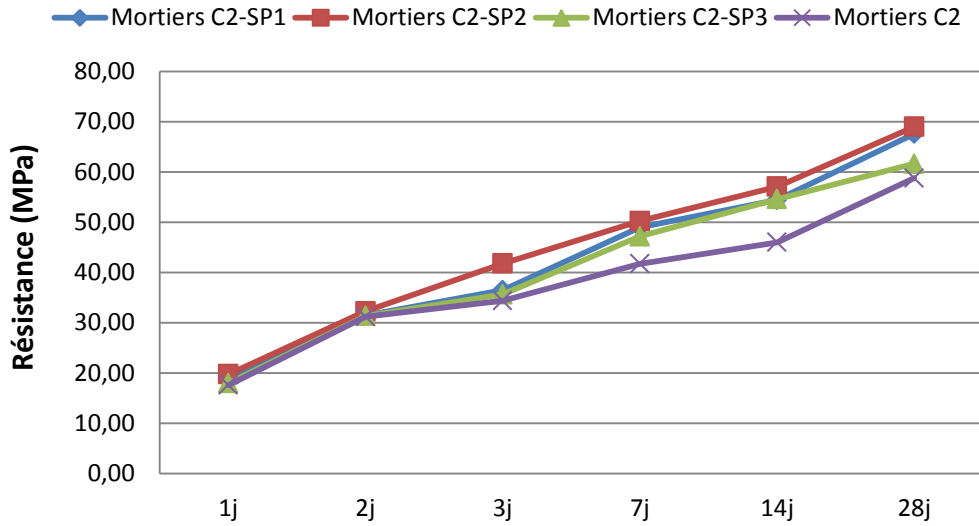


Figure IV.12 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 0.9% à même consistance

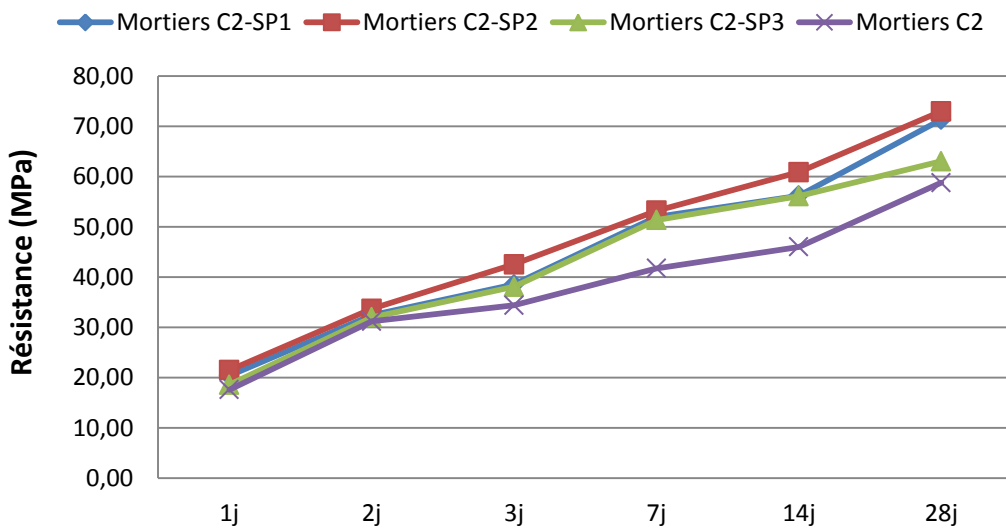


Figure IV.13 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.2% à même consistance

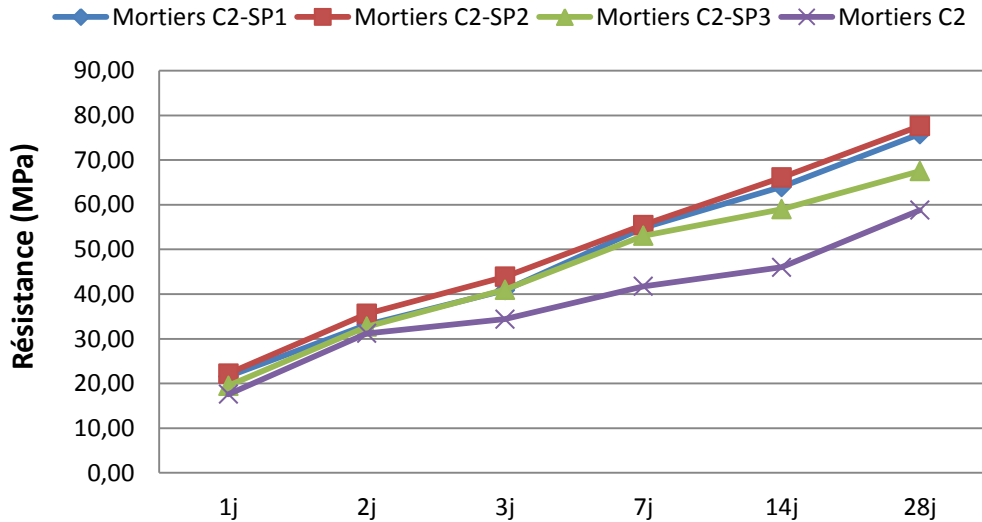


Figure IV.14 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 1.5% à même consistance

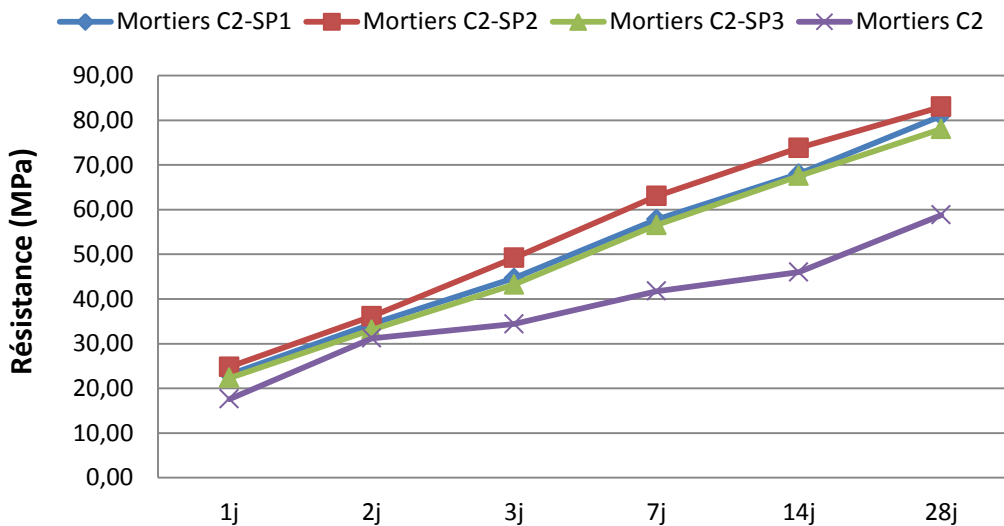


Figure IV.15 : Evolution de la résistance en compression des mortiers C2 en fonction des trois adjuvants à une dose de 2% à même consistance

Nous pouvons remarquer que le comportement global des mortiers C2 avec adjuvants est assez proche de celui des mortiers C1 avec adjuvants, mais diffère dans certains aspects. Le super-plastifiant SP2 permet de donner les meilleures résistances à toutes les échéances. Les mortiers C2 présentent les plus faibles résistances en compression à toutes les échéances, alors que les mortiers C2-SP1 et C2-SP3 présentent un comportement intermédiaires avec en général de meilleures résistances pour les mortiers C2-SP1. Le gain relatif de résistance par

rapport au mortier de référence C2 n'est pas maximal à 1 jour, mais à des échéances variables en fonction de la nature et du dosage en adjuvant.

A 0.9% de dosage en super-plastifiant SP1, le gain relatif de résistance apporté est de l'ordre de 11 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 07 % à 1 jour et 15 % à 28 jours. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 17 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 12 % à 1 jour et 17% à 28 jours. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 07 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 02 % à 1 jour et 07% à 28 jours.

A 1.2% de dosage en super-plastifiant SP1, le gain relatif de résistance apporté est de l'ordre de 17 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 16 % à 1 jour et 17 % à 28 jours. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 23 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 22 % à 1 jour et 24% à 28 jours. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 12 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 06 % à 1 jour et 07% à 28 jours.

A 1.5% de dosage en super-plastifiant SP1, le gain relatif de résistance apporté est de l'ordre de 24 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 23 % à 1 jour et 29 % à 28 jours. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 29 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 26 % à 1 jour et 32% à 28 jours. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 17 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 11 % à 1 jour et 15% à 28 jours.

A 2% de dosage en super-plastifiant SP1, le gain relatif de résistance apporté est de l'ordre de 33 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 31 % à 1 jour et 38 % à 28 jours. Pour le super-plastifiant SP2, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 42 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 41 % à 1 jour et 41% à 28 jours. Pour le plastifiant SP3, le gain relatif de résistance est de l'ordre de 29 % en moyenne à toutes les échéances avec un apport de 27 % à 1 jour et 33% à 28 jours.

Nous pouvons donc conclure que le comportement des mortiers C2 avec adjuvants, bien que proche de celui des mortiers C1 avec adjuvants, diffère dans plusieurs aspects.

Le super-plastifiant SP2 procure aux mortiers C2 les meilleures résistances en compression à toutes les échéances, mais le gain de résistance n'est pas aussi important que pour les mortiers C1 avec adjuvants. Les adjuvants SP1 et SP3 présentent un comportement assez proche et l'efficacité de l'un ou l'autre dépend du dosage en adjuvant et de l'échéance de l'essai.

A la différence des mortiers C1 avec adjuvants, le gain relatif de résistance n'est pas maximal à 01 jour mais dépend de la nature et du dosage en adjuvant. Les gains relatifs de résistance ne sont pas très variable d'une échéance à une autre ce qui préconise que cet apport est surtout physique du à la réduction du besoin en eau. Dans le cas des mortiers C2, nous ne constatons pas d'effet chimique favorable mais probablement défavorable.

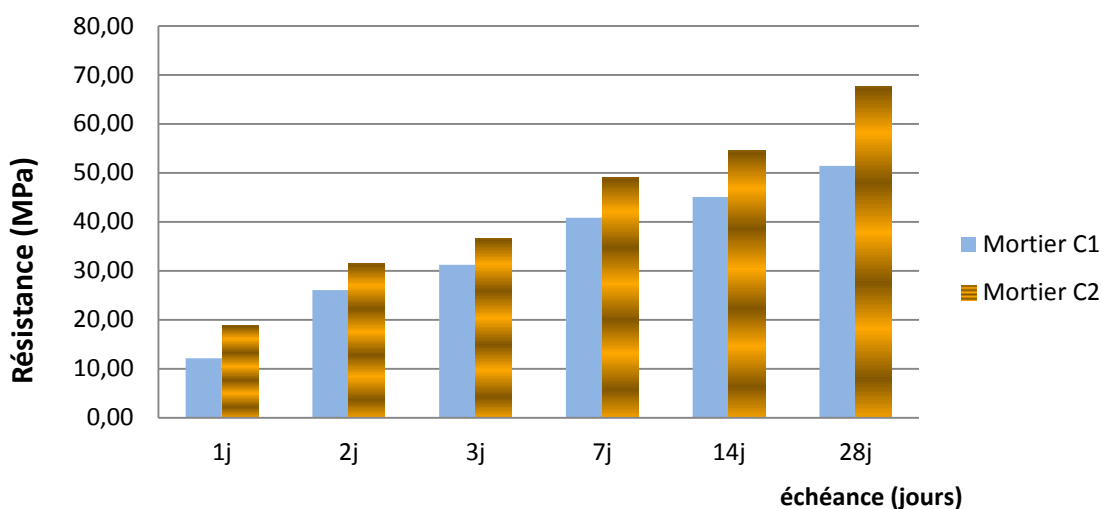
Cette analyse pourra être développée en étudiant l'influence de la nature du ciment sur l'efficacité des super-plastifiants utilisés.

Il est toute fois à noter que Le gain relatif de résistance par rapport au mortier de référence C2 est d'autant plus important que le dosage en super-plastifiant est grand. En effet, avec 2 % d'adjuvant super-plastifiant le gain relatif de résistance apporté à 1 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et SP3 peut atteindre 31%, 41% et 27%, respectivement. Le gain relatif de résistance apporté à 28 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et SP3 peut atteindre 38%, 41% et 29%.

**VI-Influence de la nature de ciment sur les résistances en compression des mortiers avec adjuvants à même consistance :**

L'influence de la nature des ciments sur l'efficacité des super-plastifiants utilisés peut être étudiée en analysant la variation des résistances en compression des mortiers C1 et C2 avec adjuvants pour les différentes échéances.

La variation des résistances en compression des mortiers C1 et C2 avec 0.9% d'adjuvant peut être représentée comme suit :



**Figure IV.16 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP1**

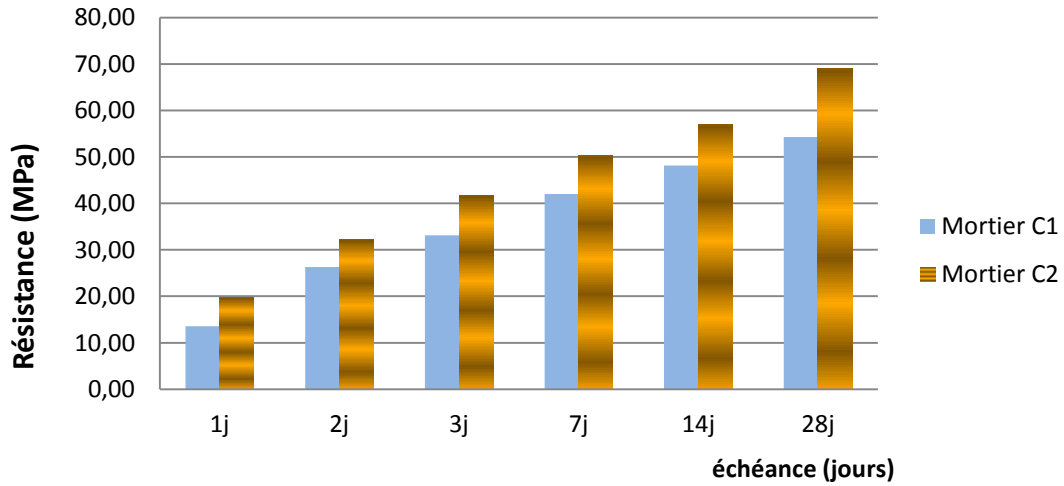


Figure IV.17 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP2

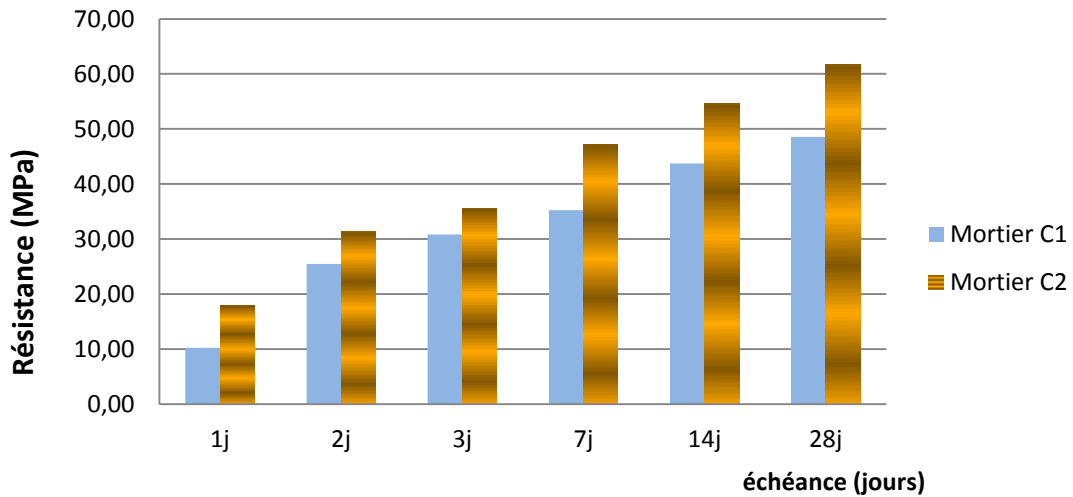


Figure IV.18 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 0.9% de SP3

A 0.9% de dosage en super-plastifiant, nous remarquons que les mortiers C2 avec adjuvants développent toujours des résistances en compression supérieures à celles des mortiers C1 avec adjuvants.

Pour le super-plastifiant SP1, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP1 et C1-SP1 est de l'ordre de 27 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 55 % à 1 jour et 21 % à 28 jours.

Pour le super-plastifiant SP2, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP2 et C1-SP2 est de l'ordre de 27 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 46 % à 1 jour et 19 % à 28 jours.

Pour le plastifiant SP3, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP3 et C1-SP3 est de l'ordre de 35 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 76 % à 1 jour et 25 % à 28 jours.

Il est à rappeler que l'écart de résistance entre le mortier de référence C2 (CEM II/A 42.5 R) avec un taux de C3S de 76 % et une finesse de 4526 cm<sup>2</sup>/g et C1 (CEM II/A 42.5) avec un taux de C3S de 55 % et une finesse de 3810 cm<sup>2</sup>/g, était en moyenne de 42% avec un écart maximal de 113 % à 1 jour et 27 % à 28 jours.

L'utilisation de 0.9 % d'adjuvant a réduit les écarts de résistances entre les deux types de mortiers avec un effet plus important pour les super-plastifiants SP2 et SP1. Cet effet est surtout visible sur les résistances à 01 jour démontrant une interaction chimique entre les super-plastifiants et la phase minérale C3S.

Les variations des résistances en compression des mortiers C1 et C2 avec 1.2%, 1.5% et 2% d'adjuvant peuvent être représentée comme suit :

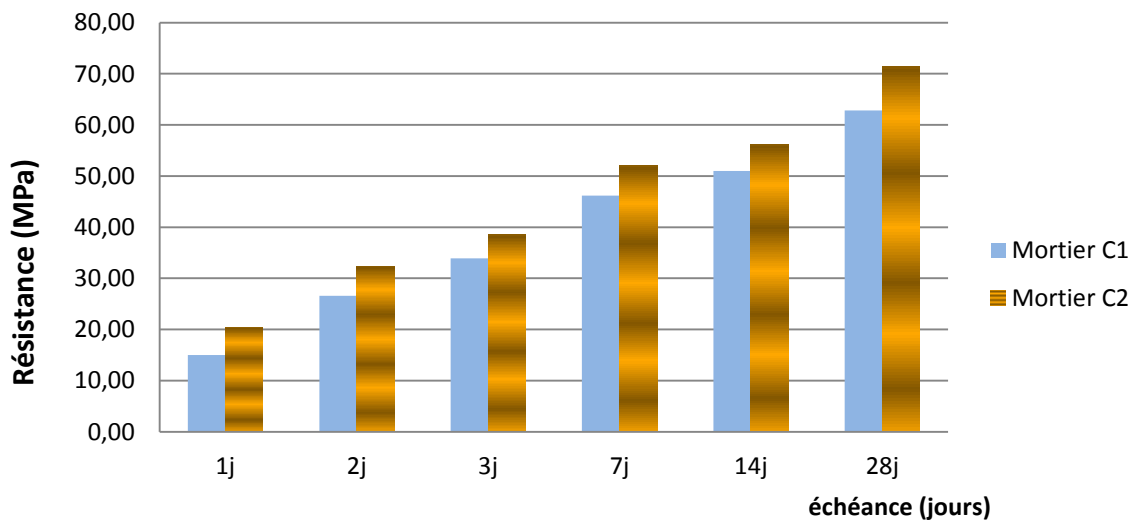


Figure IV.19 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP1

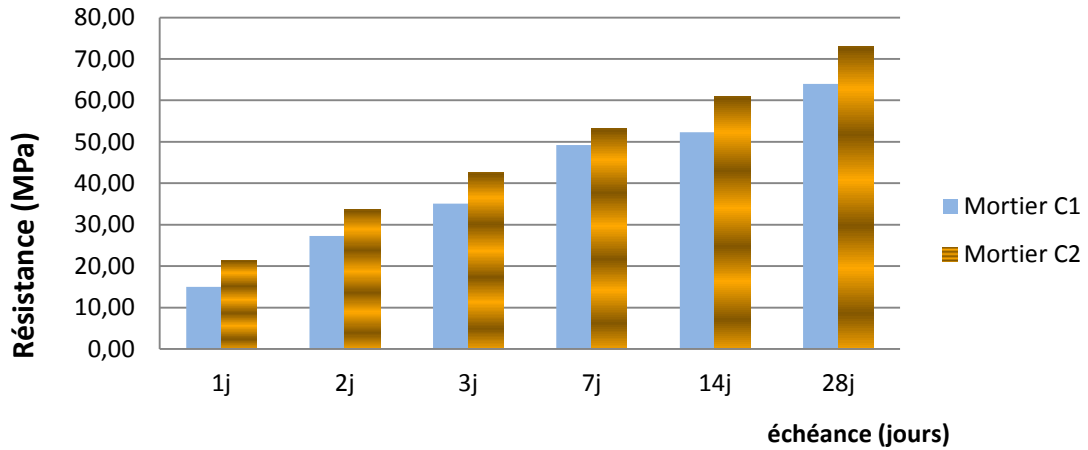


Figure IV.20 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP2

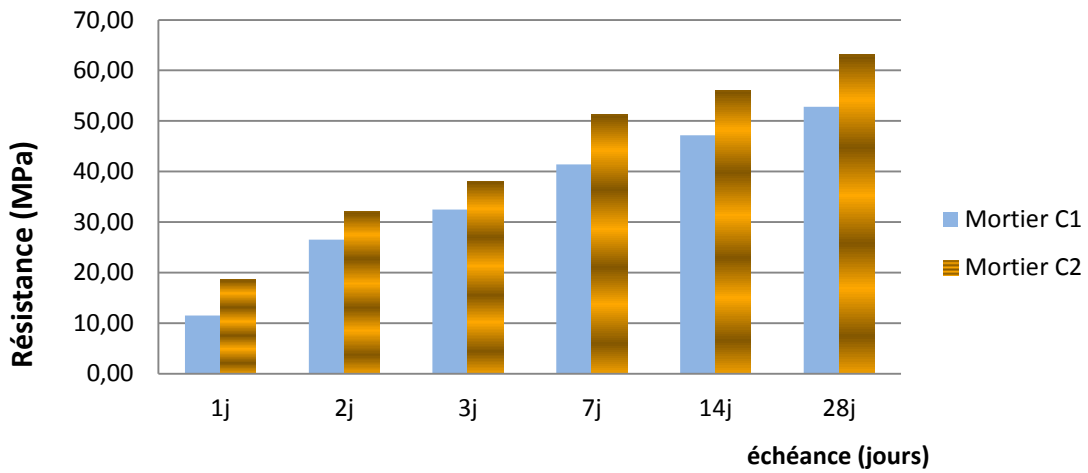


Figure IV.21 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.2% de SP3

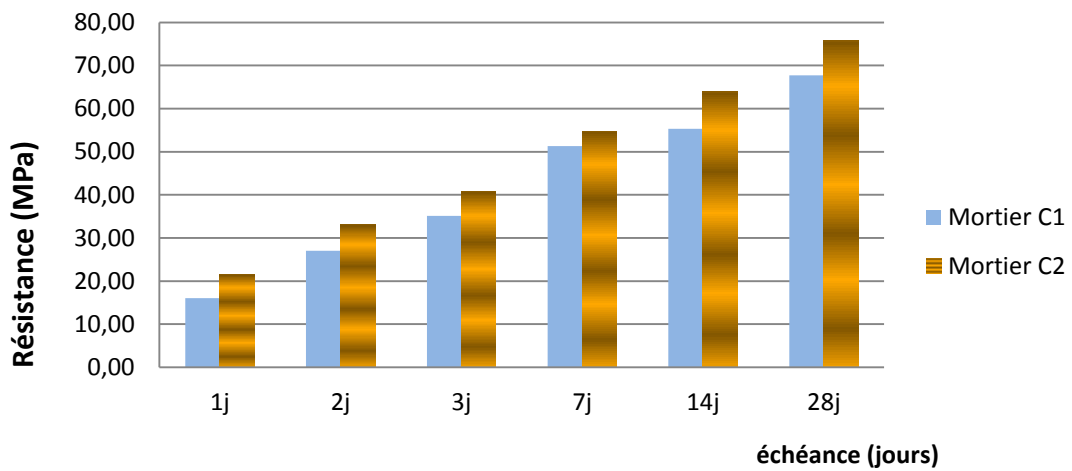


Figure IV.22 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP1

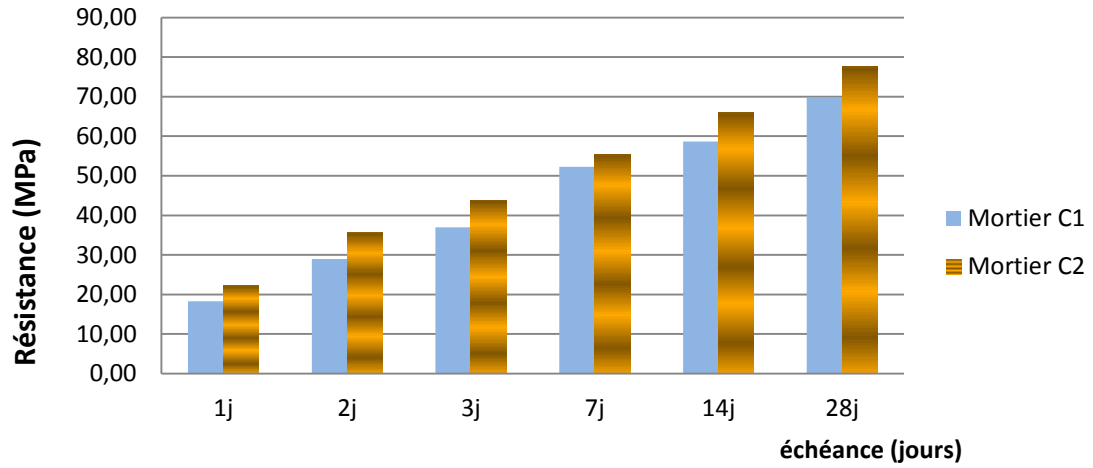


Figure IV.23 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP2

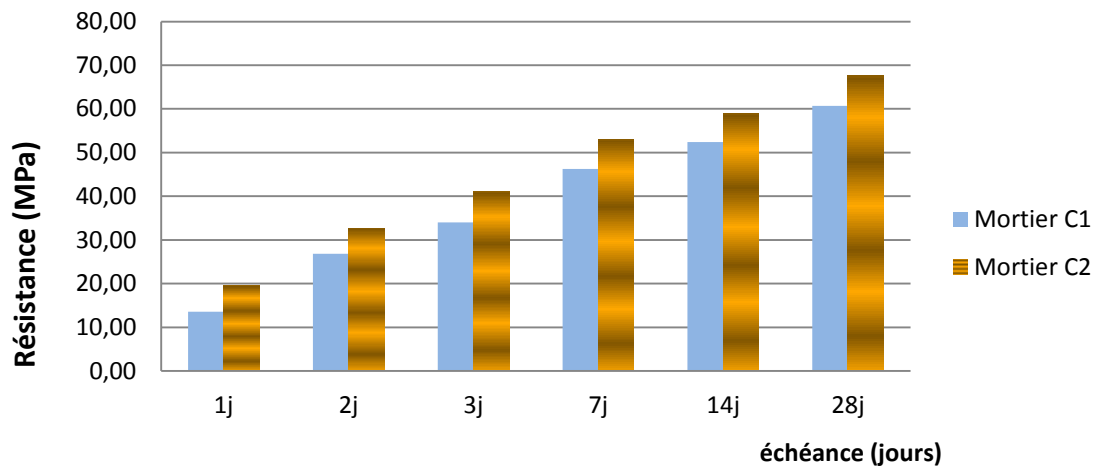


Figure IV.24 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 1.5% de SP3

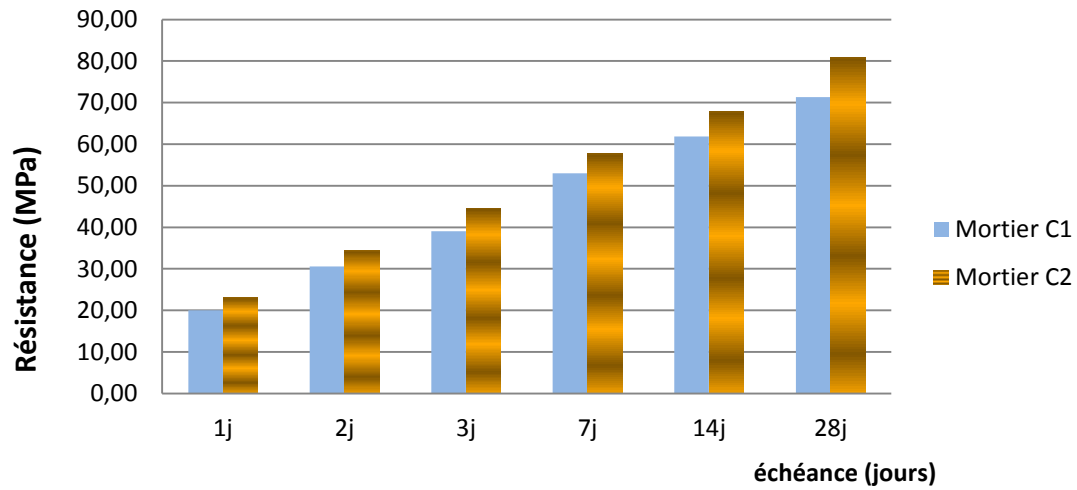


Figure IV.25 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP1

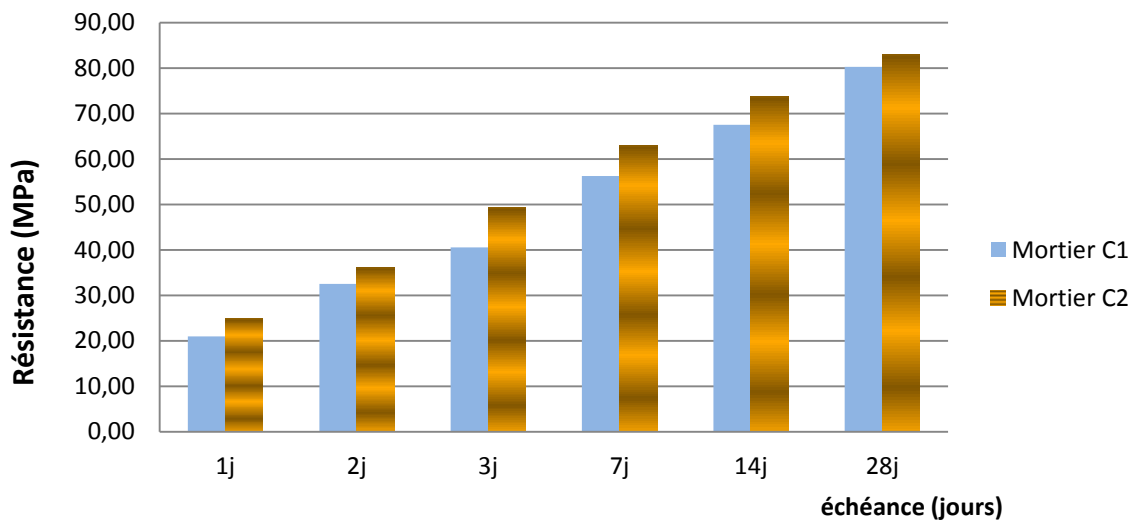
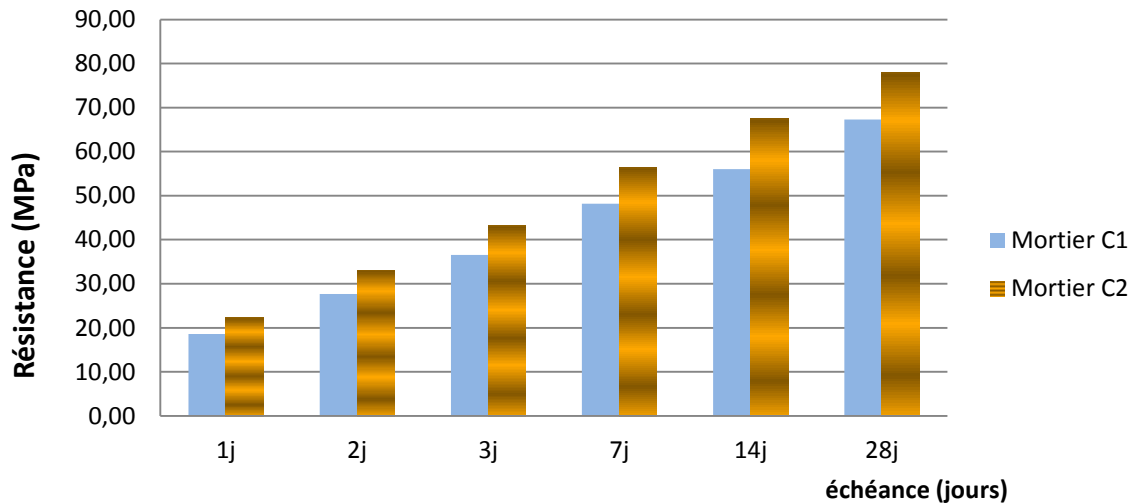


Figure IV.26 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP2



**Figure IV.27 : Evolution de la résistance des mortiers C1 et C2 à même consistance avec 2% de SP3**

A 1.2%, 1.5% et 2% de dosage en super-plastifiant, nous remarquons que le comportement des mortiers C1 et C2 avec adjuvants est pratiquement similaire à celui des mêmes mortiers avec 0.9% d'adjuvant.

Pour le super-plastifiant SP1, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP1 et C1-SP1 à 1.2% de dosage en adjuvant est de l'ordre de 19 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 36 % à 1 jour et 10 % à 28 jours. A 1.5% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 19 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 35 % à 1 jour et 16 % à 28 jours. A 2% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 12 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 15 % à 1 jour et 10 % à 28 jours.

Pour le super-plastifiant SP2, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP2 et C1-SP2 à 1.2% de dosage en adjuvant est de l'ordre de 23 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 43 % à 1 jour et 16 % à 28 jours. A 1.5% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 16 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 21 % à 1 jour et 13 % à 28 jours. A 2% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 14 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 18 % à 1 jour et 09 % à 28 jours.

Pour le plastifiant SP3, l'écart de résistance entre les mortiers C2-SP3 et C1-SP3 à 1.2% de dosage en adjuvant est de l'ordre de 29 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 62 % à 1 jour et 19 % à 28 jours. A 1.5% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 23 % en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 44 % à 1 jour et

13 % à 28 jours. A 2% de dosage en adjuvant, cet écart est de l'ordre de 19% en moyenne à toutes les échéances avec un écart maximal de 20 % à 1 jour et 21 % à 28 jours.

De même que pour un dosage de 0.9%, l'utilisation de plus forts dosages d'adjuvant a réduit les écarts de résistances entre les deux types de mortiers avec un effet plus important pour les super-plastifiants SP2 et SP1. Cet effet est surtout visible sur les résistances à 01 jour démontrant une interaction chimique entre les super-plastifiants et la phase minérale C3S. L'augmentation du dosage en adjuvant a encore plus d'effet sur l'hydratation de cette phase minérale.

## VII- Synthèse :

Dans ce chapitre, on a évalué les paramètres influant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers, tels que la nature et le dosage des différents adjuvants utilisés et la nature de ciment, en utilisant :

-Pour quantifier le besoin en eau, des essais de consistance par la table à secousses en fixant tous les composants des mortiers (quantités des ciments et sable) et on ne fait varier que la nature et le dosage des trois adjuvants pour les deux mortiers à base des deux ciments. Et pour un étalement de référence, le besoin en eau change à chaque fois qu'on change la nature et la dose d'adjuvant.

-Pour avoir la résistance en compression des différents mortiers dans toutes les échéances, des essais de compression des mortiers de  $(5*5*5)$  cm<sup>3</sup>.

Les résultats obtenus dans ce chapitre sont les suivants :

- ✓ Le besoin en eau du mortier de référence M2 à base du ciment C2 est supérieur à celui du mortier M1 à base du ciment C1.
- ✓ La nature d'adjuvant influe sur le besoin en eau des mortiers à une même consistance de référence. C.à.d :

L'adjuvant super-plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés SP2 diminue la quantité d'eau des mortiers plus que l'adjuvant super-plastifiant à base de polymères combinés SP1. La réduction d'eau de ces deux adjuvants est plus forte que celle de l'adjuvant SP3 qui est un adjuvant plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés.

- ✓ Le taux de saturation des adjuvants n'est pas pour les mortiers se prolonge au-delà de 2% pour tous les super-plastifiants et les deux ciments utilisés, à l'inverse des coulis pour les quels le taux de saturation est limité à 1.5 %.
- ✓ Le besoin en eau des mortiers est plus grand quand la finesse Blaine du ciment est élevée.
- ✓ Un taux d'Alite (C<sub>3</sub>S) du ciment plus élevée engendre une croissance des résistances en compression des mortiers.

- ✓ La classe complémentaire R dans un ciment qui signifie la classe rapide engendre une augmentation des résistances en compression pour les mortiers.
- ✓ L'adjuvant SP2 de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés améliore la résistance plus que les deux autres adjuvants. Aussi, l'adjuvant SP1 qui est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polymères combinés améliore la résistance plus que l'adjuvant SP3 qui est un plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés. Donc, la nature d'adjuvant ajouté a une grande influence sur le besoin en eau des mortiers donc sur les résistances en compression.

## CHAPITRE V

# EVOLUTION DES PROPRIETES MECANIKES DES BETONS AVEC ADJUVANTS

### Introduction :

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié et analysé l'action des divers adjuvants sur les coulis, pâtes et mortiers de ciments. Les essais effectués ont permis de faire ressortir certains paramètres qui favorisaient l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques de ces matériaux.

Les formulations intéressantes vont être reconduites dans ce chapitre pour les faire valider sur les bétons en suivant les mêmes procédures que pour les mortiers.

Dans ce cas, on a effectué 08 formulations de bétons :

-02 formulations pour les deux bétons de référence à base des deux types de ciment et sans ajout d'adjuvant.

-03 formulations pour des bétons à base de ciment C1 et avec les trois types d'adjuvant.

-03 formulations pour des bétons à base de ciment C2 et avec les trois types d'adjuvant.

Pour toutes les formulations on a maintenu les mêmes quantités de ciment, sable et agrégats. La quantité d'eau a été variée en fonction du dosage en adjuvant jusqu'à l'atteinte de la consistance de référence correspondant à un affaissement de  $7 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$  au cône d'Abrams. Le dosage en adjuvant a été maintenu à 2 % de la masse de ciment, correspondant à un dosage optimal conformément aux résultats obtenus pour les mortiers.

### I-Confection des bétons de référence :

Les procédures suivies pour la préparation des bétons, la confection des éprouvettes, de stockage et les mesure des résistances en compression ont été réalisées conformément à la norme NF P 18-404 comme il a été exposé dans le chapitre II.

La vérification de l'affaissement de référence par le cône d'Abrams a été réalisée conformément à la méthodologie exposée dans le chapitre II.

Un béton de référence B1-0 a été confectionné par le ciment C1 : CPJ-CEM II 42.5 et un deuxième béton de référence B2-0 par le ciment C2 : CPJ-CEM II 42.5R, en fixant la quantité de ciment, de sable et de gravier en utilisant la méthode de formulation de béton de Dreux-Gorisse, et on fait varier la quantité d'eau à chaque fois qu'on ajoute l'adjuvant jusqu'à

l'obtention de l'affaissement de référence pour obtenir un béton plastique correspondant à un affaissement de  $7 \pm 1$  cm.

Dix (10) éprouvettes sont préparées pour chaque formulation, qui sont conservées dans une chambre humide pendant 24 heures. Les éprouvettes sont alors démoulées puis conservées dans l'eau à  $20 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  jusqu'à l'échéance d'essai d'écrasement.

A chaque échéance d'essai, deux éprouvettes sont écrasées en compression conformément à la norme utilisée et on considère la moyenne des deux résistances en compression comme résistance du béton considéré.

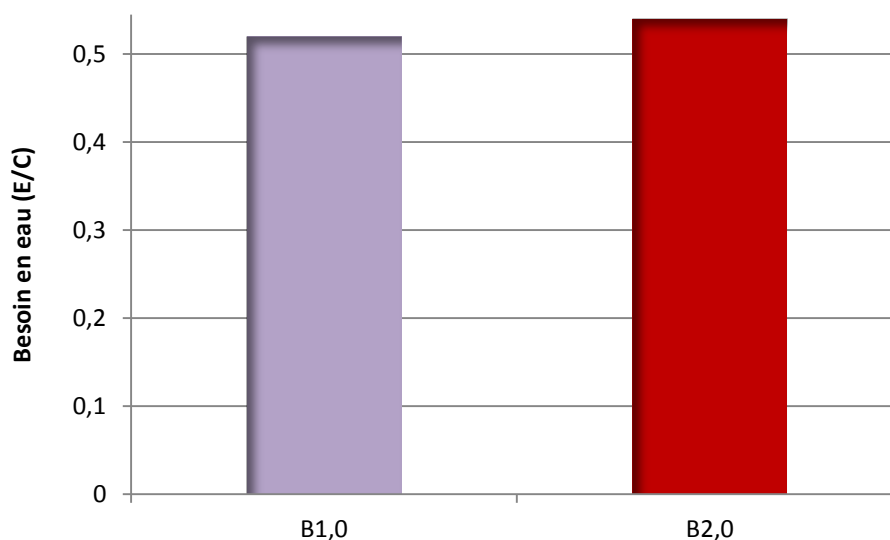
Les résultats pour les bétons de référence B1-0 et B2-0 sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau V.1 : Besoins en eau et résistances en compression des bétons de référence**

Béton	SP%	(E/C)	Rc1j	Rc2j	Rc3j	Rc7j	Rc28j
B1-0	0	0,52	6,68	20,14	22,78	25,8	33,15
B2-0	0	0,54	12,8	24	26,12	30,4	42,28

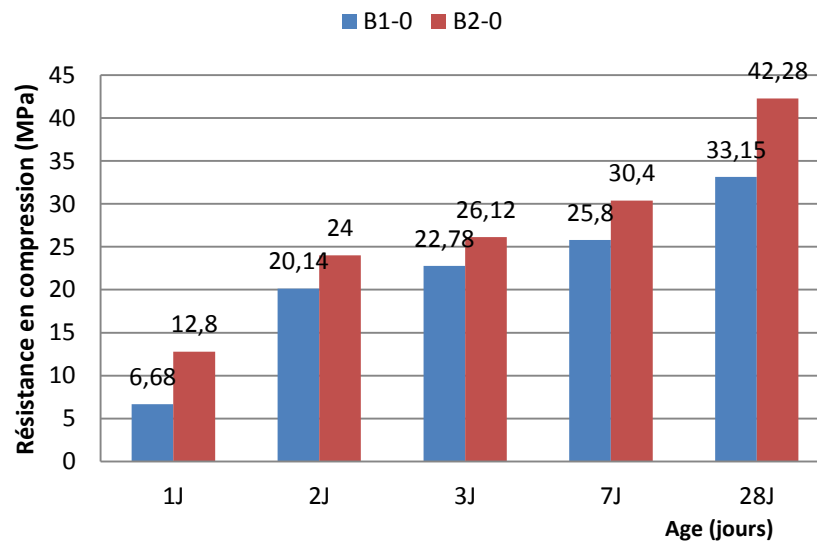
Le besoin en eau des bétons de référence peut être représenté par la figure (V.1).

Nous remarquons que le besoin en eau du béton de référence B2-0 à base du ciment C2 à même consistance est supérieur de 4% par rapport à celui du béton de référence B1-0 à base du ciment C1. Cette différence est due à la différence de nature de ciment dont l'influence est due à la plus grande finesse du ciment C2 ( $4526 \text{ cm}^2/\text{g}$ ).



**Figure V.1 : Variation du besoin en eau des deux bétons de référence à même consistance**

La variation des résistances en compression des bétons de référence B1-0 et B2-0 peut être représentée par la figure (V.2).



**Figure V.2 : Variation des résistances en compression des bétons de référence à même consistance**

Nous remarquons que le comportement du béton de référence B2-0 à base du ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) est meilleur que le comportement du béton de référence B1-0 à base du ciment C1 (CEM II/A 42.5) à toutes les échéances.

-A 1 jour, la résistance en compression du béton B1-0 n'atteint que 52 % de la résistance du béton B2-0. Cet écart est réduit à 2, 3, 7 et 28 jours puisque la résistance du béton B1-0 atteint 84 %, 87 %, 85% et 79 % des résistances du béton B2-0, respectivement.

Les meilleures résistances en compression du béton de référence B2-0 sont due à la nature du ciment C2 à durcissement rapide. L'accélération de l'hydratation aux premières heures est essentiellement due à la forte teneur du ciment C2 en  $C_3S$ . Le maintien d'un écart positif de résistance pour le béton B2-0 est avantagé encore par la plus grande finesse du ciment C2.

C'est le résultat qui a été montré par Kheribet R., A.Bnemounah, M. Samar, M.Saidi, [66].

Ce comportement a été déjà constaté pour les mortiers mais l'écart de résistance a été légèrement atténué.

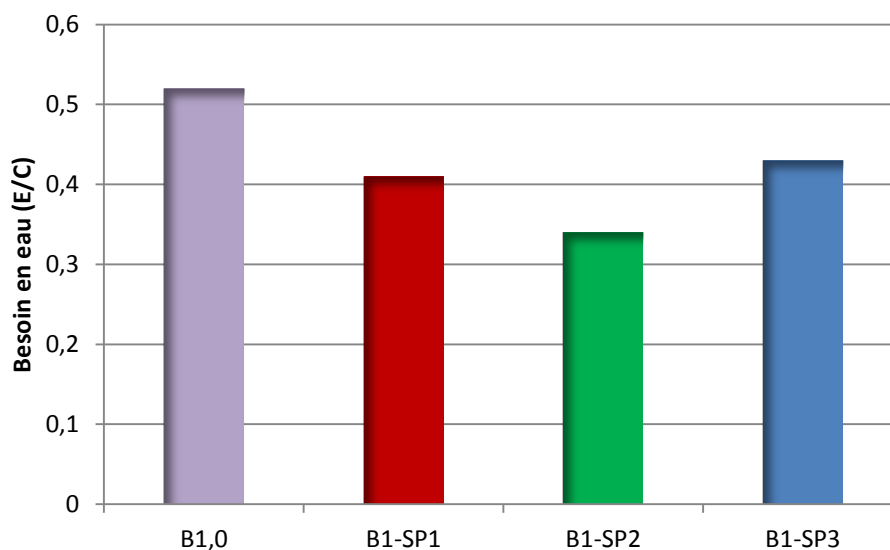
## II-Besoin en eau des bétons avec adjuvants:

Pour étudier l'influence de la nature d'adjuvant sur le besoin en eau des bétons à base des ciments C1 et C2, nous avons fixé tous les paramètres et leurs quantités tels que le ciment, le sable et le gravier et on a fait varier la quantité d'eau en fonction de la nature d'adjuvant pour conférer aux différents bétons la consistance de référence, à savoir un affaissement de  $7\text{cm} \pm 1\text{cm}$  au cône d'Abrams.

La variation du besoin en eau des bétons à base de ciment C1 avec les trois types d'adjuvant est représentée comme suit :

**Tableau V.2 : le besoin en eau des bétons B1 avec les trois adjuvants**

Béton	E/C
<b>B1-SP1</b>	0.41
<b>B1-SP2</b>	0.34
<b>B1-SP3</b>	0.43



**Figure V.3 : Variation du besoin en eau du béton à base du ciment C1 en fonction de la nature d'adjuvant à même consistance**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que l'apport d'adjuvant dans les mélanges de bétons à base de ciment C1 permet une réduction en eau considérable.

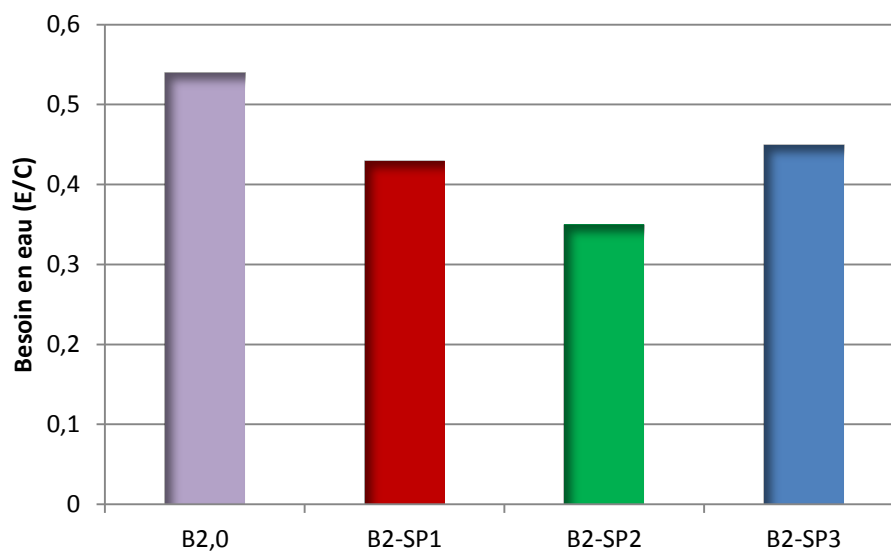
La réduction du besoin en eau des bétons avec adjuvants par rapport au béton de référence atteint 79 %, 65 % et 83 % par l'utilisation de 2 % de SP1, SP2 et SP3, respectivement.

L'efficacité du super-plastifiant SP2 à base de Poly carboxylates est confirmée par rapport aux deux autres adjuvants.

La variation du besoin en eau des bétons à base de ciment C2 avec adjuvants est représentée comme suit :

**Tableau V.3 : le besoin en eau des bétons B2 avec différents adjuvants**

Béton	E/C
B2-SP1	0.43
B2-SP2	0.35
B2-SP3	0.45



**Figure V.4 : Variation du besoin en eau du béton à base du ciment C2 en fonction de la nature d'adjuvant à même consistance**

On remarque de la figure (V.4) que le comportement du besoin en eau des bétons B2 à base du ciment C2 est similaire au comportement des bétons B1 à base du ciment C1 avec ajout des trois différents adjuvants.

L'efficacité du super-plastifiant SP2 est confirmée et elle n'est pas influencée par la nature du ciment utilisé dans le mélange.

### III-Résistances en compression des bétons avec adjuvants :

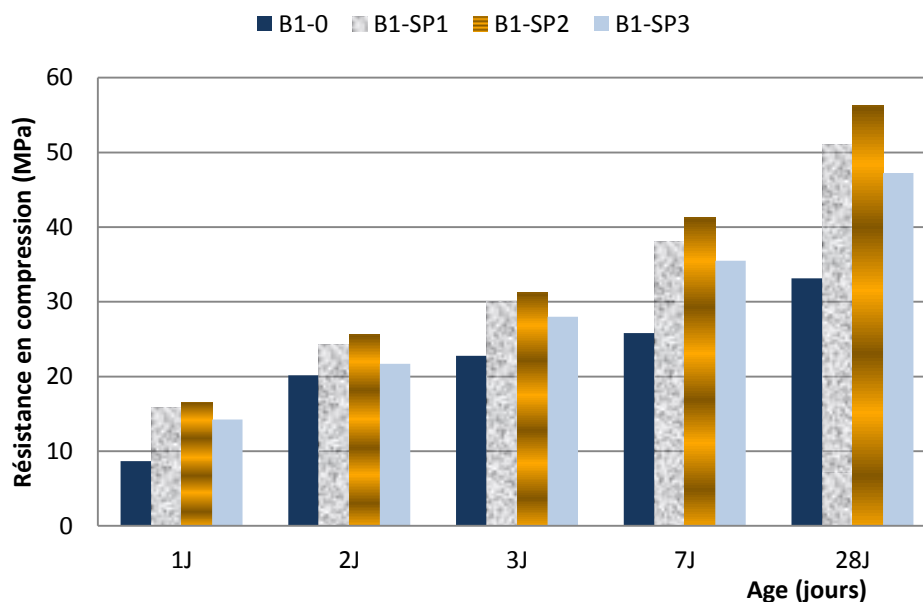
Pour étudier l'influence de la nature d'adjuvant sur les résistances en compression des bétons à base des ciments C1 et C2, nous avons confectionné 10 éprouvettes pour chaque formulation et nous avons écrasé deux éprouvettes pour chaque échéances : 1j, 2j, 3j, 7j et 28 jours.

Les résultats des essais de compression pour les bétons B1 et B2 avec adjuvants sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau V.4 : Résistances en compression des bétons B1 B2 avec les trois types d'adjuvants**

Béton	SP%	(E/C)	Rc1j	Rc2j	Rc3j	Rc7j	Rc28j
B1-0	0	0,52	8,68	20,14	22,78	25,8	33,15
B2-0	0	0,54	12,8	24	26,12	30,4	42,28
B1-SP1	2%	0,41	15,81	24,3	30,08	38	51,02
B2-SP1	2%	0,34	17,2	26,14	31,48	39,84	52,7
B1-SP2	2%	0,43	16,5	25,6	31,24	41,25	56,3
B2-SP2	2%	0,43	18	27	32,85	42	58,9
B1-SP3	2%	0,35	14,26	21,7	28	35,5	47,25
B2-SP3	2%	0,46	16	24	30	37,25	52

Pour les bétons B1 avec adjuvants, l'évolution des résistances en compression est représentée par la figure (V.5) :



**Figure V.5 : Evolution des résistances en compression des bétons B1 avec adjuvants à même consistance**

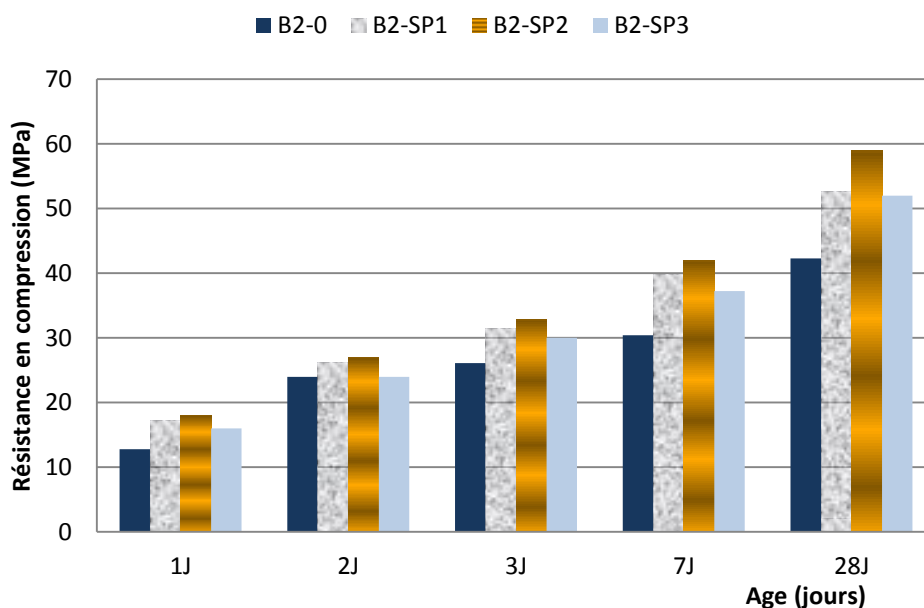
Nous remarquons que l'apport des adjuvants pour les résistances mécaniques des bétons à base de ciment C1 est très significatif avec les trois adjuvants utilisés, mais elle est plus ou moins importante en fonction de la nature de l'adjuvant.

Les bétons B1 avec super-plastifiant SP2 présentent les meilleures résistances en compression à toutes les échéances. L'amélioration du super-plastifiant SP2 (Medaflow 145) varie entre 27 et 90 % en fonction de l'échéance d'écrasement.

Les bétons B1-0 présentent le plus faible comportement alors que les bétons B1-SP1 et B1-SP3 présentent un comportement intermédiaire.

Cette amélioration est en général plus importante à très court terme (1jour) en atteignant 90 % pour le SP2, 82% pour le SP1 (Medafluid SFR 122) et 64 % pour le SP3 (BV 40 +), puis s'atténue à 02 et 03 jours pour devenir plus intéressante à 07 et 28 jours en atteignant 70 % pour le SP2, 54% pour le SP1 et 43 % pour le SP3.

Pour les bétons B2 avec adjuvants, l'évolution des résistances en compression est représentée par la figure (V.6) :



**Figure V.6 : Evolution des résistances en compression des bétons B2 avec super-plastifiants à même consistance**

Nous remarquons en général que l'apport des adjuvants aux résistances en compression des bétons à base du ciment C2 est moins important que pour les bétons à base du ciment C1 et dépend de la nature de l'adjuvant et de l'échéance de l'écrasement.

Les bétons B2 avec super-plastifiant SP2 présentent les meilleures résistances en compression à toutes les échéances. L'amélioration du super-plastifiant SP2 varie entre 13 et 40 % en fonction de l'échéance d'écrasement.

Les bétons B2-0 présentent le plus faible comportement alors que les bétons B2-SP1 et B2-SP3 présentent un comportement intermédiaire.

Cette amélioration est en général plus importante à très court terme (1jour) en atteignant 41 % pour le SP2, 34% pour le SP1 et 25 % pour le SP3, puis s'atténue à 02 et 03 jours pour devenir plus intéressante à 07 et 28 jours en atteignant 39 % pour le SP2, 25% pour le SP1 et 23 % pour le SP3.

Le meilleur comportement des adjuvants utilisés avec le ciment C1 est essentiellement à la réduction du besoin en eau qui est plus importante dans les bétons B1. En effet, le ciment C2, par sa plus grande finesse exige un besoin en eau plus important que le ciment C1. D'autre part, l'action d'hydratation des  $C_3S$  qui est à l'origine des résistances à courts et moyens termes et qui se trouve à plus fort taux dans le ciment C2 peut être retardée par une interaction avec les adjuvants.

Ces conclusions ont été relevées par certains auteurs Corradi & al [58], Aitcin [56] qui ont confirmé l'interaction de certains adjuvants avec les ciments utilisés.

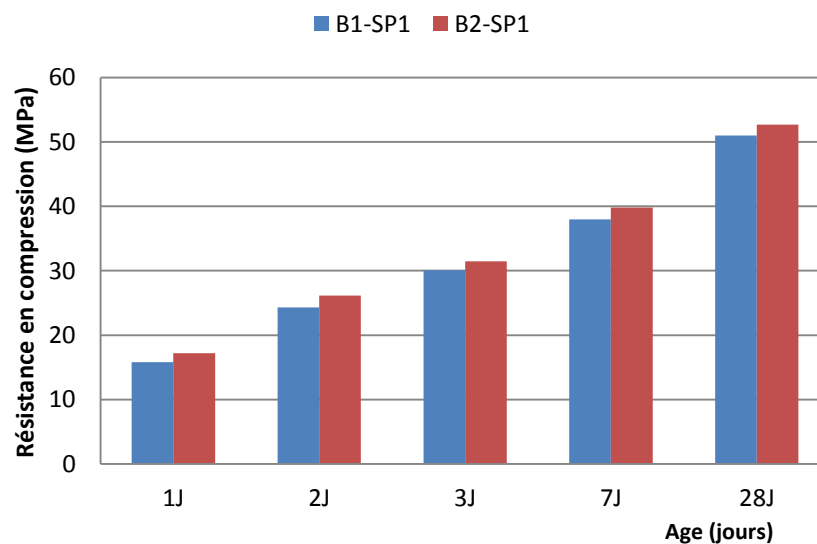
#### IV-Influence de la nature du ciment sur la résistance en compression des bétons avec adjuvants:

Nous avons vu dans le paragraphe précédent que certains adjuvants pouvaient interagir avec les ciments utilisés. Pour étudier l'influence de la nature du ciment sur les résistances en compression des bétons avec adjuvants, nous avons représenté la variation de ces résistances pour les deux types de bétons avec chaque adjuvant utilisé.

L'évolution des résistances en compression des bétons B1 et B2 avec le super-plastifiant SP1 est représentée dans le tableau (V.5) et la figure (V.7).

**Tableau V.5 : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1 et B2 avec l'adjuvant SP1 à même consistance**

Echéance	B1-SP1	B2-SP1
1J	15,81	17,2
2J	24,3	26,14
3J	30,08	31,48
7J	38	39,84
28J	51,02	52,7



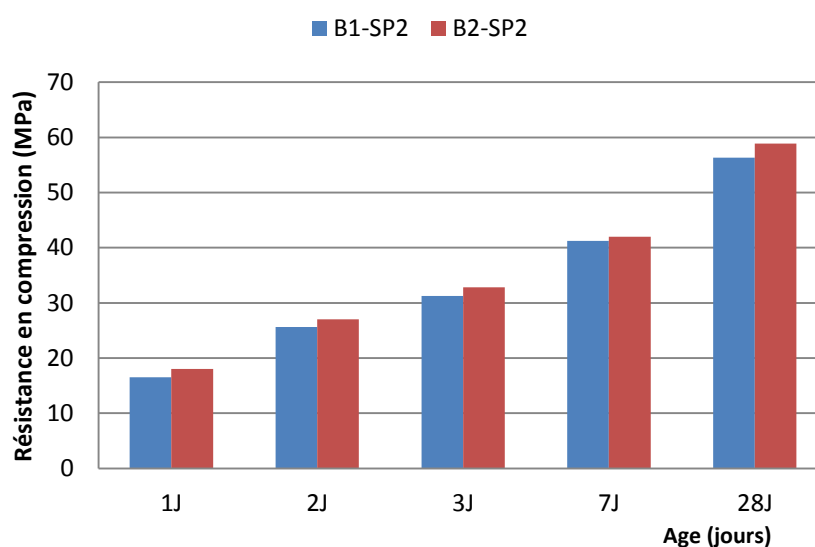
**Figure V.7 : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP1**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que les résistances en compression des bétons B2-SP1 sont toujours supérieures à celles des bétons B1-SP1 à toutes les échéances d'écrasement. La moyenne de différence aux diverses échéances est de l'ordre de 106% avec un pic de 109 % pour les résistances à 01 jour. Cet écart de résistance est très en deçà de l'écart de résistance entre les deux bétons de référence qui était de l'ordre de 125 % en moyenne pour les diverses échéances en faveur du béton B2-0 avec un pic de 147 % pour les résistances à 01 jour. On estime donc que l'utilisation du super-plastifiant SP1 Granitex Medafluid SFR 122 à base de polymères combinés a été plus efficace dans les bétons B1 à base de ciment C1 (CEM II/A 42.5) à faible taux de C3S (55.5%) et à moyenne finesse que dans les bétons B2 à base de ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) à plus fort taux de C3S (74.23%) et à plus grande finesse.

L'évolution des résistances en compression des bétons B1 et B2 avec le super-plastifiant SP2 est représentée dans le tableau (V.6) et la figure (V.8).

**Tableau V.6 : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1 et B2 avec l'adjuvant SP2 à même consistance**

Echéance	B1-SP2	B2-SP2
1J	16,5	18
2J	25,6	27
3J	31,24	32,85
7J	41,25	42
28J	56,3	58,9



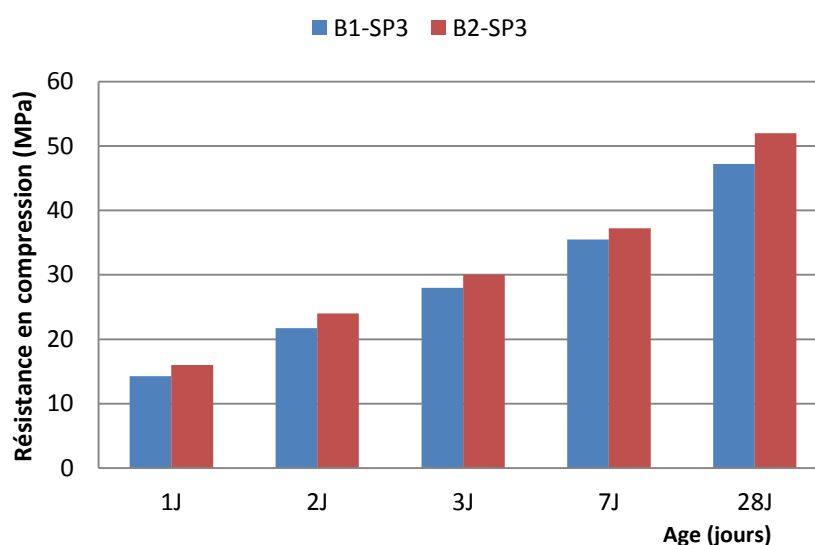
**Figure V.8 : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP2**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que le comportement des bétons B1 et B2 avec le super-plastifiant SP2 est similaire avec celui des mêmes bétons avec le SP1. La moyenne de différence aux diverses échéances est de l'ordre de 105% avec un pic de 109 % pour les résistances à 01 jour. On a déjà expliqué que cet écart de résistance est très en deçà de l'écart de résistance entre les deux bétons de référence ce qui confirme que l'utilisation du super-plastifiant SP2 Granitex Medaflow 145 de la nouvelle génération à base de polycarboxylates d'éther modifiés a été plus efficace dans les bétons B1 à base de ciment C1 que dans les bétons B2.

L'évolution des résistances en compression des bétons B1 et B2 avec le plastifiant SP3 est représentée dans le tableau (V.7) et la figure (V.9).

**Tableau V.7 : Evolution des résistances en compression pour les bétons B1et B2 avec l'adjuvant SP3 à même consistance**

Echéance	B1-SP3	B2-SP3
<b>1J</b>	14,26	16
<b>2J</b>	21,7	24
<b>3J</b>	28	30
<b>7J</b>	35,5	37,25
<b>28J</b>	47,25	52



**Figure V.9 : Variation de la résistance en compression des bétons B1 et B2 avec 2% de SP3**

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que le comportement des bétons B1 et B2 avec le plastifiant SP3 est assez proche de celui des mêmes bétons avec le SP1 et SP2. La moyenne de différence aux diverses échéances est de l'ordre de 109% avec un pic de 112 % pour les résistances à 01 jour. On a déjà expliqué que cet écart de résistance est très en deçà de l'écart de résistance entre les deux bétons de référence ce qui confirme que l'utilisation du plastifiant SP3 Sikaplast BV 40+ à base de poly carboxylates modifiés a été plus efficace dans les bétons B1 à base de ciment C1 que dans les bétons B2. Néanmoins l'influence de la nature du ciment sur l'efficacité de l'adjuvant SP3 est moins importante que pour les deux super-plastifiants SP1 et SP2.

On déduit que les trois adjuvants sont plus efficaces avec les bétons B1 à base de ciment C1 qu'avec les bétons B2 à base de ciment C2 à toutes les échéances. Cette différence est due à la nature des ciments utilisés. En effet le ciment C2 est un ciment CEM II/A 42.5 R à

durcissement rapide caractérisé par une teneur en C3S de 74.23% et une finesse de 4526 cm<sup>2</sup>/g alors que le ciment C1 est un ciment CEM II/A 42.5 caractérisé par une teneur en C3S de 55.50% et une finesse de 3810 cm<sup>2</sup>/g.

L'influence de la nature du ciment sur l'efficacité des adjuvants utilisés est plus visible pour les super-plastifiants SP1 Granitex Medafluid SFR 122 à base de polymères combinés et SP2 Granitex Medaflow 145 de la nouvelle génération à base de poly-carboxylates d'éther modifiés que pour le SP3 Sikaplast BV 40+ à base de poly carboxylates modifiés.

## V- Synthèse :

Dans ce chapitre, on a estimé les paramètres influant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons, tels que la nature des différents adjuvants et ciments utilisés, en utilisant :

- Pour mesurer le besoin en eau des bétons pour un affaissement constant pour obtenir des bétons plastiques, des essais de plasticité du béton frais en fixant tous les composants des bétons (quantités des ciments, sable et gravier) et on ne fait varier que la nature des trois adjuvants pour les deux bétons à base des deux ciments. Et pour un affaissement constant, le besoin en eau change à chaque fois qu'on change la nature d'adjuvant.

- Pour avoir la résistance en compression des différents bétons dans toutes les échéances, des essais de compression sur des éprouvettes de  $(10*10*10)$  cm<sup>3</sup>.

Le dosage en adjuvant a été maintenu à 2 % de la masse de ciment, correspondant à un dosage optimal conformément aux résultats obtenus pour les mortiers.

Les résultats obtenus dans ce chapitre sont les suivants :

- ✓ Le besoin en eau des bétons est plus grand quand la finesse Blaine du ciment est élevée.
- ✓ Les meilleures résistances en compression du béton de référence B2-0 sont dues à la nature du ciment C2 à durcissement rapide. L'accélération de l'hydratation aux premières heures est essentiellement due à la forte teneur du ciment C2 en C<sub>3</sub>S. Le maintien d'un écart positif de résistance pour le béton B2-0 est avantageé encore par la plus grande finesse du ciment C2.  
Ce comportement a été déjà constaté pour les mortiers mais l'écart de résistance a été légèrement atténué.
- ✓ L'ajout du super-plastifiant SP2 de la nouvelle génération à base de Poly carboxylates d'éther modifiés engendre une réduction d'eau supérieure par rapport aux deux autres adjuvants.
- ✓ Le ciment C2, par sa plus grande finesse exige un besoin en eau plus important que le ciment C1. D'autre part, l'action d'hydratation des C<sub>3</sub>S qui est à l'origine des résistances à courts et moyens termes et qui se trouve à plus fort taux dans le ciment C2 peut être retardée par une interaction avec les adjuvants. Donc, les trois adjuvants sont plus efficaces avec les bétons B1 à base de ciment C1 qu'avec les bétons B2 à

base de ciment C2 à toutes les échéances. Cette différence est due à la nature des ciments utilisés. En effet le ciment C2 est un ciment CEM II/A 42.5 R à durcissement rapide caractérisé par une teneur en  $C_3S$  de 74.23% et une finesse de 4526  $cm^2/g$  alors que le ciment C1 est un ciment CEM II/A 42.5 caractérisé par une teneur en  $C_3S$  de 55.50% et une finesse de 3810  $cm^2/g$ .

- ✓ L'influence de la nature du ciment sur l'efficacité des adjuvants utilisés est plus visible pour les super-plastifiants SP1 Granitex Medafluid SFR 122 à base de polymères combinés et SP2 Granitex Medaflow 145 de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés que pour le SP3 Sikaplast BV 40+ à base de poly carboxylates modifiés.

## CONCLUSION GENERALE

Dans cette thèse de Magister, on s'est proposé d'étudier l'effet des adjuvants super-plastifiants de différentes natures sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons destinés à la préfabrication. Dans ce contexte, les apports physiques, ou chimiques des différents super-plastifiants ont été évalués pour maîtriser leur utilisation dans l'industrie du béton en Algérie.

En proposant de travailler sur l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons destinés à la préfabrication, par l'introduction des adjuvants super-plastifiants de différentes natures, ce sujet souhaite contribuer à l'amélioration du procédé de production des poutres préfabriquées précontraintes et rentabiliser les moyens existants à l'unité de préfabrication GESI PREFA teleghma. Outre la réponse aux besoins technologiques évidents, l'utilisation des différents adjuvants dans les matériaux cimentaires constitue aussi un enjeu économique et un défi scientifique pertinent.

Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu, l'approche du sujet a été essentiellement expérimentale. Les propriétés rhéologiques (écoulement et maniabilité), mécaniques (résistances mécaniques aux différents âges) pour les différents matériaux cimentaires (coulis, pâtes, mortiers et bétons) ont été évalués par des essais conformes aux normes européennes NE.

Le sujet de thèse a visé en premier lieu à mettre en application une méthodologie expérimentale adaptée, capable de dégager la liaison entre les propriétés des adjuvants (nature chimique, rôle et action) avec les modifications apportées sur les propriétés macroscopiques des mélanges cimentaires frais et durcis. L'action des adjuvants fluidifiants a été évaluée essentiellement par leur influence sur le couple consistance - quantité d'eau de gâchage ou d'adjuvant super-plastifiant, et l'apport de ces adjuvants sur les résistances mécaniques à courts termes et moyens termes des bétons.

L'étude bibliographique a permis de maîtriser les connaissances sur l'influence des différents adjuvants super-plastifiants sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des pâtes, mortiers et bétons. La caractérisation des propriétés physico-chimiques et minéralogique des matériaux utilisées a permis de maîtriser ces différentes propriétés afin d'évaluer leur incidence sur les comportements des matériaux cimentaires à l'état frais et durci.

L'étude des coulis et pâtes de ciment a permis d'évaluer par des essais simples et normalisés l'efficacité des adjuvants utilisés sur les propriétés des mélanges à l'état frais et leur effets sur le processus de prise.

L'étude des mortiers de ciment constitue la phase la plus importante de l'étude. Elle a permis d'évaluer par des essais simples et normalisés l'influence des adjuvants utilisés sur les propriétés rhéologiques et mécaniques à courts et moyens termes des mortiers avec adjuvants. Les essais sur mortiers ont permis de réaliser un nombre important de gâchées et de formulation.

Les résultats obtenus pour les mortiers ont été appliqués aux bétons, ce qui a permis de ressortir avec des conclusions intéressantes.

L'examen et l'analyse des résultats obtenus pour les différentes phases de cette étude peuvent être récapitulés comme suit :

❖ **Pour les coulis et pâtes de ciment:**

- ✓ Le super-plastifiant SP2 a la plus grande influence sur la fluidité des coulis à base des ciments C1 et C2, alors que le plastifiant SP3 présente la plus faible efficacité. Le super-plastifiant SP1 présente un comportement intermédiaire. Le degré de saturation en super-plastifiant dans les coulis C1 est visible à 1.2% pour le SP1 et SP3 et 1.5% pour le SP2. Cette efficacité est justifiée vu que le super-plastifiant SP2 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés alors que le SP1 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polymères combinés et le SP3 est un plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés.
- ✓ le maintien du temps d'écoulement des coulis varie avec l'augmentation du dosage des adjuvants. A l'obtention des degrés de saturation des adjuvants, le maintien des temps d'écoulement devient stable. Cela peut être expliqué par le phénomène dispersant des adjuvants dans les grains de ciment.
- ✓ le degré de saturation des adjuvants dépend de la nature de ciment utilisé qui influe directement sur le choix d'adjuvant le mieux adapté et qui donne au coulis la plus grande fluidité avec un faible dosage de saturation.
- ✓ Le plastifiant SP3 à base de poly carboxylates modifiés et le super-plastifiant SP1 à base de polymères combinés modifiés ont un effet retardateur sur le temps de début de prise qui est plus ou moins important en fonction de la nature du ciment. Le super-plastifiant SP2 ne présente pas d'effet retardateur sur la prise du ciment.

❖ **Pour les mortiers :**

- ✓ Le besoin en eau du mortier de référence M2 à base du ciment C2 est supérieur à celui du mortier M1 à base du ciment C1. Ceci est dû essentiellement à la plus grande finesse du ciment C2 (CEM II/A 42.5 R)
- ✓ La nature d'adjuvant influe beaucoup sur la réduction du besoin en eau des mortiers à même consistance. Le super-plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération à base de poly carboxylates d'éther modifiés SP2 est plus efficace que le super-plastifiant à base de polymères combinés SP1 qui est aussi plus efficace que l'adjuvant SP3 qui est un plastifiant réducteur d'eau à base de poly carboxylates modifiés.
- ✓ Les adjuvants super-plastifiants présentent dans les mortiers des taux de saturation plus importants que dans les coulis. En effet le taux de saturation des mortiers en adjuvant dépasse 2% pour tous les super-plastifiants et pour les deux ciments.
- ✓ le mortier de référence C2 développe des résistances en compression plus importantes que celles du mortier de référence C1 à toutes les échéances. L'écart atteint 213% à 1 jour et 142% à 28 jours. Cette différence de comportement peut être expliquée par le taux de C3S et la finesse du ciment C2, qui sont plus importants que ceux du ciment C1. On sait que l'Alite (C3S) donne au ciment une résistance rapide et élevée. De plus une finesse plus importante du ciment C2 va permettre une hydratation plus rapide et plus totale du ciment anhydre.
- ✓ les résistances en compression des mortiers C1-SP2 sont toujours supérieures aux résistances des autres mortiers à toutes les échéances. Les mortiers C1 présentent les plus faibles résistances en compression à toutes les échéances, alors que les mortiers C1-SP1 et C1-SP3 présentent un comportement intermédiaires avec de meilleures résistances pour les mortiers C1-SP1 à toutes les échéances. Le gain relatif de résistance par rapport au mortier de référence C1 est d'autant plus important que le dosage en super-plastifiant est grand et il maximal à 1 jour. En effet, avec 2 % d'adjuvant super-plastifiant le gain relatif de résistance apporté à 1 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et Sp3 peut atteindre 142%, 154% et 125%, respectivement. Le gain relatif de résistance apporté à 28 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et Sp3 peut atteindre 66%, 78% et 53%. Cet apport peut être expliqué d'une part par la réduction du besoin en eau qui est plus importante pour le super-plastifiant SP2 de nouvelle génération à base de poly-carboxylates d'éther modifié. Mais la différence des gains relatifs de résistances entre 1 jour et 28 jours permet d'avancer que les super-plastifiants utilisés ont pu intervenir dans

le processus d'hydratation à très court terme ce qui a permis des gains relatifs de résistances beaucoup plus importants. Ce processus ne s'est pas prolongé à 2 jours et 03 jours.

- ✓ le comportement des mortiers C2 avec adjuvants, bien que proche de celui des mortiers C1 avec adjuvants, diffère dans plusieurs aspects. Le super-plastifiant SP2 procure aux mortiers C2 les meilleures résistances en compression à toutes les échéances, mais le gain de résistance n'est pas aussi important que pour les mortiers C1 avec adjuvants. Les adjuvants SP1 et SP3 présentent un comportement assez proche et l'efficacité de l'un ou l'autre dépend du dosage en adjuvant et de l'échéance de l'essai.
- ✓ A la différence des mortiers C1 avec adjuvants, le gain relatif de résistance n'est pas maximal à 01 jour mais dépend de la nature et du dosage en adjuvant. Les gains relatifs de résistance ne sont pas très variable d'une échéance à une autre ce qui préconise que cet apport est surtout physique du à la réduction du besoin en eau. Dans le cas des mortiers C2, nous ne constatons pas d'effet chimique favorable mais probablement défavorable.
- ✓ Le gain relatif de résistance par rapport au mortier de référence C2 est d'autant plus important que le dosage en super-plastifiant est grand. En effet, avec 2 % d'adjuvant super-plastifiant le gain relatif de résistance apporté à 1 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et SP3 peut atteindre 31%, 41% et 27%, respectivement. Le gain relatif de résistance apporté à 28 jour par l'ajout des super-plastifiants SP1, SP2 et SP3 peut atteindre 38%, 41% et 29%.
- ✓ l'utilisation de plus forts dosages d'adjuvant a réduit les écarts de résistances entre les deux types de mortiers avec un effet plus important pour les super-plastifiants SP2 et SP1. Cet effet est surtout visible sur les résistances à 01 jour démontrant une interaction chimique entre les super-plastifiants et la phase minérale C3S. L'augmentation du dosage en adjuvant a encore plus d'effet sur l'hydratation de cette phase minérale.

❖ **Pour les bétons :**

- ✓ le comportement du béton de référence B2-0 à base du ciment C2 (CEM II/A 42.5 R) est meilleur que le comportement du béton de référence B1-0 à base du ciment C1 (CEM II/A 42.5) à toutes les échéances. -A 1 jour, la résistance en compression du béton B1-0 n'atteint que 52 % de la résistance du béton B2-0. Cet écart est réduit à 2, 3, 7 et 28 jours puisque la résistance du béton B1-0 atteint 84 %, 87 %, 85% et 79 % des résistances du béton B2-0, respectivement. Les meilleures résistances en compression du béton de référence B2-0 sont due à la nature du ciment C2 à durcissement rapide. L'accélération de

l'hydratation aux premières heures est essentiellement due à la forte teneur du ciment C2 en C3S. Le maintien d'un écart positif de résistance pour le béton B2-0 est avantagé encore par la plus grande finesse du ciment C2.

- ✓ le comportement du besoin en eau des bétons B2 à base du ciment C2 est similaire au comportement des bétons B1 à base du ciment C1 avec ajout des trois différents adjuvants. L'efficacité du super-plastifiant SP2 est confirmée et elle n'est pas influencée par la nature du ciment utilisé dans le mélange.
- ✓ L'apport des adjuvants pour les résistances mécaniques des bétons à base de ciment C1 est très significatif avec les trois adjuvants utilisés, mais elle est plus ou moins importante en fonction de la nature de l'adjuvant.
- ✓ Les bétons B1 avec super-plastifiant SP2 présentent les meilleures résistances en compression à toutes les échéances. L'amélioration du super-plastifiant SP2 (Medaflow 145) varie entre 27 et 90 % en fonction de l'échéance d'écrasement. Les bétons B1-0 présentent le plus faible comportement alors que les bétons B1-SP1 et B1-SP3 présentent un comportement intermédiaire. Cette amélioration est en général plus importante à très court terme (1jour) en atteignant 90 % pour le SP2, 82% pour le SP1 (Medafluid SFR 122) et 64 % pour le SP3 (BV 40 +), puis s'atténue à 02 et 03 jours pour devenir plus intéressante à 07 et 28 jours en atteignant 70 % pour le SP2, 54% pour le SP1 et 43 % pour le SP3.
- ✓ l'apport des adjuvants aux résistances en compression des bétons C2 est moins important que pour les bétons C1 et dépend de la nature de l'adjuvant et de l'échéance de l'écrasement.
- ✓ Les bétons B2 avec super-plastifiant SP2 présentent les meilleures résistances en compression à toutes les échéances. L'amélioration du super-plastifiant SP2 varie entre 13 et 40 % en fonction de l'échéance d'écrasement. Les bétons B2-0 présentent le plus faible comportement alors que les bétons B2-SP1 et B2-SP3 présentent un comportement intermédiaire. Cette amélioration est en général plus importante à très court terme (1jour) en atteignant 41 % pour le SP2, 34% pour le SP1 et 25 % pour le SP3, puis s'atténue à 02 et 03 jours pour devenir plus intéressante à 07 et 28 jours en atteignant 39 % pour le SP2, 25% pour le SP1 et 23 % pour le SP3.
- ✓ Le meilleur comportement des adjuvants utilisés avec le ciment C1 est essentiellement à la réduction du besoin en eau qui est plus importante dans les bétons B1. En effet, le ciment C2, par sa plus grande finesse exige un besoin en eau plus important que le ciment C1. D'autre part, l'action d'hydratation des C3S qui est à l'origine des résistances à courts et

moyens termes et qui se trouve à plus fort taux dans le ciment C2 peut être retardée par une interaction avec les adjuvants.

- ✓ les trois adjuvants sont plus efficaces avec les bétons B1 à base de ciment C1 qu'avec les bétons B2 à base de ciment C2 à toutes les échéances. Cette différence est due à la nature des ciments utilisés.
- ✓ L'influence de la nature du ciment sur l'efficacité des adjuvants utilisés est plus visible pour les super-plastifiants SP1 Granitex Medafluid SFR 122 à base de polymères combinés et SP2 Granitex Medaflow 145 de la nouvelle génération à base de poly-carboxylates d'éther modifiés que pour le SP3 Sikaplast BV 40+ à base de poly-carboxylates modifiés.

Enfin, les conclusions aux quelles on a aboutit permettent de confirmer que l'utilisation des super-plastifiants dans les bétons permet d'aboutir à des gains de résistances importants à 1 jour avec des résistances à 28 jours très intéressantes. Les résultats obtenus pour les bétons à base de ciment C2 à durcissement rapide (CEM II/A 42.5 R) avec 2% de super-plastifiants SP2 de nouvelle génération à base de poly-carboxylate d'éther modifié permettra d'avoir des performances à très courts termes pour les bétons tout en leur assurant des résistances à 28 jours dignes d'un BHP.

La combinaison de l'utilisation des super-plastifiants ou d'accélérateurs de durcissement avec l'ajout d'additions minérales et des traitements thermiques peut surement réduire les temps de mise en tension des poutres précontraintes ce qui permettra une meilleure optimisation des moyens utilisés à l'unité de préfabrication GESI PREFEA de Teleghma. Une étude combinant tous ces paramètres avec la maîtrise des différentes interactions pourra être poursuivie dans le cadre du projet de recherche en cours.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Georges Dreux Jean Festa.** : Nouveau guide du béton et de ses constituants, 8ème édition Eyrolles, ISBN 2-212-10231-3.2002.
- [2]. **Jacques Baron et Jean-Pierre Ollivier.** : Les bétons, bases et données pour leur formulation, édition Eyrolles,1997.
- [3]. **ERCE – CTC-Est – GRANITEX.** : Journée d'information «ciments-bétons-adjuvants», les adjuvants définitions et opportunités d'utilisation, 2004.
- [4]. **Rixom M. R., Mailvaganam N. P.** : Chemical admixtures for concrete, E & F. N. Spon, Ed., London, 1986.
- [5]. **Dodson V. H.** : Concrete admixtures, Van Nostrand Reinhold, Structural Engineering Series, Ed., New York, 1990.
- [6]. **Hasni L.** : "Bétons Autoplaçants", Rapport de recherche n°98-004/98-006 du CEBTP présenté aux journées du PN BAP, juillet 1999.
- [7]. **PERCHE F.** : Adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciments. Thèse de Doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2004.
- [8]. **SPIRATOS N., PAGÉ M., MAILVAGANAM N.P., MALHOTRA V.M., JOLICOEUR C.** : Superplasticizers for Concrete: Fundamentals, Technology, and Practice, Ed. CANMET, Ottawa, Canada, 2003.
- [9]. **MEHTA P.K.** : Role of Pozzolanic and Cementitious Material in Sustainable Development of the Concrete Industry. Proceedings of the 6th CANMET/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Ed. Malhotra V.M., American Concrete Institute, Detroit, U.S.A, SP-178, pp. 1-20, 1998.
- [10]. **VENUAT M.** Adjuvants et Traitements. Editions Eyrolles, Paris, 1984.
- [11]. **PALACIOS M., PUERTAS F.** : Effect of superplasticizer and shrinkage-reducing admixtures on alkali-activated slag pastes and mortars. Cement and Concrete Research, Vol. 35, No. 7, pp. 1358-1367, 2005.
- [12]. **JOLICOEUR C., SIMARD M.A.** : Chemical admixture-cement interactions : phenomenology and physico-chemical concepts. Cement and Concrete Composite, Vol. 20, No. 2-3, pp. 87-101, 1998.
- [13]. **JOLICOEUR C., NKINAMUBANZI P.-C., SIMARD M.-A., PIOTTE, M.** : Progress in understanding the functional properties of superplasticizers in fresh concrete. Proceedings of 4th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, ACI SP-148, pp. 63-88, 1994.
- [14]. **FLATT R.J., HOUST Y.F.** : A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 8, pp. 1169-1176, 2001.

- [15]. **TATTERSALL G.H., BANFILL P.F.G.** : The rheology of fresh concrete. Pitman Publishing Inc., Londres, Royaume-Uni, 356 pages, 1983.
- [16]. **KREIJGER P.C.** : Plasticizers and dispersing admixtures. International congress on admixtures, Londres, Royaume-Uni, 1980.
- [17]. **TADMOR, R.; HERNAÁNDEZ-ZAPATA, E.; CHEN, N.; PINCUS, P.; ISRAELACHVILI, J. N.** : Debye length and double-layer forces in polyelectrolyte solutions. *Macromolecules*, Vol. 35, No. 6, pp. 2380-2388, 2002.
- [18]. **STANKOVICH, J.; CARNIE, S. L.** : Electrical Double Layer Interaction between Dissimilar Spherical Colloidal Particles and between a Sphere and a Plate: Nonlinear Poisson-Boltzmann Theory. *Langmuir*, Vol. 12, No. 6, pp. 1453-1461, 1996.
- [19]. **SALMANG H., SCHOLZE H.** : *Keramik*. 3ème édition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [20]. **GOUY, G. J.** : Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte. *Journal de Physique*, Vol. 9, pp. 457-468, 1910.
- [21]. **CHAPMAN D. L.** : A contribution to the theory of electrocapillarity. *Philosophical Magazine*, Vol. 25, pp. 475-481, 1913.
- [22]. **HOUST Y. F., FLATT R. J., BOWEN, P., HOFMANN H., MAEDER U., WIDMER J., SULSER U., BUERGE T. A.** : Optimization of superplasticizers: From research to application. Proceeding of the International RILEM Conference on the role of admixtures in High Performance Concrete, RILEM Publications s.a.r.l., Cachan, France, pp. 121-134, 1999.
- [23]. **NAWA T., EGUCHI H.** : Effect of cement characteristics on the fluidity of cement paste containing an organic admixture". Proceeding of the 9th International Congress on Cement Chemistry, New Dehli, Inde, Vol. 4, pp. 579-603, 1992.
- [24]. **YOSHIOKA K., TAZAWA E.-I., KAWAI K., ENOHATA T.** : Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, No. 10, pp. 1507-1513, 2002.
- [25]. **HIRSCH C.M.** : Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen polymeren Fließmitteln und Zementen bzw. Mineralphasen der frühen Zementhydratation. Thèse de Doctorat, Technischen Universität, München, 2005.
- [26]. **UCHIKAWA H., UCHIDA S., OGAWA K., HANEHARA S.** : Influence of  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CaSO}_4$  on the initial hydration of clinker having different burning degree. *Cement and Concrete Research*, Vol. 14, No. 5, pp. 645-656, 1984.
- [27]. **BLASK O.** : Zur Rheologie von polymermodifizierten Bindemittelleimen und Mörtelsystemen. Thèse de Doctorat, Universität Gesamthochschule Siegen, 2002.
- [28]. **YOSHIOKA K., SAKAI E., DAIMON M., KITAHARA A.** : Role of steric hindrance in the performance of superplasticizers for concrete. *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 80, No. 10, pp. 2667-2671, 1997.

- [29]. **PLANK, J.; SCHWERD, R.; VLAD, D.; BRANDL, A.; CHATZIAGORASTOU, P.** : Kolloidchemische Aspekte zur Verflüssigung von Zementleimen mit Polycarboxylaten, GDCh-Monographie, Vol. 31, pp. 58 -69, 2004.
- [30]. **RAMACHANDRAN V.S. ; MALHOTRA V.M., JOLICOEUR C., SPIRATOS N.** : Superplasticizers : properties and applications in concrete. CANMET, 404 pages, 1998.
- [31]. **GRIESSER A.** : Cement-Superplasticizer Interactions at Ambient Temperatures. Rheology, Phase Composition, Pore Water and Heat of Hydration of Cementitious Systems. Thèse de Doctorat, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 2002.
- [32]. **YAMADA K., OGAWA S., HANEHARA S.** : Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 3, pp. 375-383, 2001.
- [33]. **PLANK, J.** : Current Developments on Concrete Admixtures in Europe Proceeding of the Symposium on Chemical Admixtures in Concrete, Dalian, Chine, pp. 13-27, 2004.
- [34]. **RICKERT J.** : Wechselwirkungen zwischen Zementen und Betonzusatzmitteln. Technisch-wissenschaftliche Zementtagung, Nuremberg, Allemagne, 2005.
- [35]. **YAMADA K., TAKAHASHI T., HANEHARA S., MATSUHISA M.** : Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 2, pp.197-207, 2000.
- [36]. **Jaques BARON et Jean-Pierre OLLIVIER** : Les bétons Bases et données pour leur formulation 2ème tirage 1997. Editions Eyrolles.
- [37]. **Adam M.NEVILLE** : Propriétés des bétons, traduit par le CRIB 2000. Editions Eyrolles.
- [38]. **A.Boudchicha** : Paramètres influant sur les propriétés des bétons, cours de 1<sup>ère</sup> année de Magister en Génie Civil, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi 2010.
- [39]. **Paillere A. M.** : Influence des résines de synthèse fluidifiantes sur la rhéologie et la déformation des pâtes de ciment avant et en cours de prise, 7ème Congrès International de la chimie des ciments, Vol. III, p. 186-191, Paris, 1980.
- [40]. **Hanna E., Luka K. and Aitcin P. C.** : Rheological behaviour of Portland cement in the presence of a superplasticizer, Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, 3rd International congress, p. 171-188, CANMET/ACI, Ottawa, 1989.
- [41]. **Aiad I.** : Influence of time addition of superplasticizers on the rheological properties of fresh cement pastes, Cement and Concrete Research, Vol. 33, p. 1229 – 1234, 2003.
- [42]. **Ramachandran V. S.** : Use of superplasticizers in concrete, II Cemento, Vol. 3, p. 273-298, 1987.
- [43]. **Thermkhajornkit P., Nawa T.** : The fluidity of flyash-cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer, Cement and concrete research Vol. 34, p. 1017-1024, 2004.
- [44]. **Ramachandran V. S et al.** : Superplasticizers: Properties and applications in concrete, Minister of Public Works and Government services, p. 97-100, Canada, 1998.

- [45]. **Plank J., Hirsch C.** : Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption, *Cement and concrete research* Vol. 37, p. 537-542, 2007.
- [46]. **Hallal .A, Ezziane .K., Kadri .A., Kadri E.H** : Fluidité des coulis de ciments composés avec additions minérales locales en fonction des super-plastifiants de granitex. Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION – Chlef N° : 10-148 Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011
- [47]. **A.Boudchicha** : Editions Universitaires Européennes 2011, Action des additions et superplastifiants sur les mortiers et les bétons, étude des propriétés rhéologiques et mécaniques, ISBN10 : 9783841781857.
- [48]. **A.BENMOUNAH a, M. SAMAR [a], R.KHERIBET [a], M. SAIDI [b], B. SAFI [a]** : 19ème congrès français de mécanique Marseille, 24-28 août 2009
- [49]. **Kadri E. H.** : Contribution à l'étude de l'influence de la fumée de silice sur les caractéristiques des bétons à hautes performances, Thèse de doctorat de l'université de Cergy Pontoise, 1998.
- [50]. **Magarotto R., Moratti F., Zeminian N.** : Enhancing the compatibility of superplasticizers with cements, *Proceedings of the International Conference on Admixtures enhancing, Concrete performances*, p. 21-33, Skotland, U.K., 6 July 2005.
- [51]. **Golaszewski et Szwabowski** : Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars, *Cement and Concrete Research*, 2469, 2003.
- [52]. **Chandra S., Björnström J.** : Influence of superplasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars – part II, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, p.1613–1619, 2002.
- [53]. **Abdelaziz Boudchicha, Mustapha Cheikh Zouaoui, and J-L Gallias** : Influence of the Parameters of Formulation on the Fresh Properties of Cementing Materials with Admixtures, article, *Materials Science Forum* Vols. 730-732 [2013] pp 456-461, Trans Tech Publications, Switzerland 2013.
- [54]. **De Larrard F.** : Formulation et propriétés constructives des bétons à très hautes performances, Rapport de recherche des LPC N° 149, LCPC, Paris, mars 1989.
- [55]. **Sylvie.pourchet** : Effet des superplastifiants de type PCP sur l'hydratation des silicates tricalciques. Institut Carnot de Bourgogne
- [56]. **Aitcin P. C.** : Les superplastifiants : des réducteurs d'eau pas comme les autres, Recueil de conférences présentées à l'université de Sherbrooke, 1990.
- [57]. **Sakai E., Kasuga T., Sugiyama T., Asaga K., Daimon M.** : Influence of superplasticizers on the hydration of cement and pore structure of hardened cement, *Cement and concrete research* Vol. 36, p. 2049-2053, 2006.
- [58]. **Corradi M., Khurana R., Magarotto R.** : New superplasticizers for the total control of performances of fresh and hardened concrete, *Proceedings of the International Conference on Admixtures-enhancing, Concrete performances*, p. 1-10, Skotland, U.K., 6 July 2005.

- [59]. **A.Boudchicha** : Les bétons, cours de 1<sup>ère</sup> année de Magister en Génie Civil, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi 2010.
- [60]. **Erdogdu S.** : Compatibility of superplasticizers with cements different in composition, Cement and concrete research Vol. 30, p. 767-773, 2000.
- [61]. **Falikman V. R., Sorokin Y. V., Vainer A. Y., bashlykov N. F.** : New high performance Poly-carboxylate superplasticizers based on derivative copolymers of maleinic acid, Proceedings of the International Conference on Admixtures-enhancing, Concrete performances, p. 41-46, Skotland, U.K., 6 july 2005.
- [62]. **Brooks J. J. Wainwright P. J. and Neville A. M.** : Time depend properties of concrete containing a superplasticizing admixture, in Superplasticizers in Concrete, ACI SP-62, p.293-314, Detroit, Michigan, 1979.
- [63]. **Malhorta V. M.**, Superplasticizers in concrete, CANMET report MRP/MSL 70-213, 20 pp., Canada centre for mineral and energy technology, Ottawa, August 1979
- [64]. **Malhorta V. M.** : Superplasticizers : A global review with emphasis on durability and innovative concretes, in superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, Proc., 3rd International conference, Ottawa, Ed. V. M. Malhorta, ACI SP-119, p. 1-17, Detroit, Michigan, 1989.
- [65]. **Amouri Chahinez** : Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires [Caractérisation, Performances, Durabilité], thèse de doctorat, université Mentouri Constantine 2009.
- [66]. **Kheribet R., A.Bnemounah, M. Samar, M.Saidi** : action de super-plastifiants [poly-carboxylate et poly-naphtalene sulfonate] sur les propriétés rhéologiques et physico mécaniques des ciments CEMI et CRS. Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION – Boumerdès N° : 1P-314 Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011
- [67]. **Meishan Pei, Zhenfei Wang, Wenwei Li, Jin Zhang, Qiwei Pan et Xiaojuan Qin** : The properties of cementitious materials superplasticized with two superplasticizers based on aminosulfonate–phenol–formaldehyde, article, School of Chemistry and Chemical Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, Shandong, People's Republic of China. Construction and Building Materials Volume 22, Issue 12, December 2008, Pages 2382-2385.