



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M ..... /GC/2019

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

### *Thème*

ELABORATION D'UN BETON A INFILTRATION DE  
COULIS (SIFCON)  
- EN COLLABORATION AVEC COSIDER-

Présenté par :

1. CHERGUIA TOUATIA
2. BENMERDJA ROUBA

*Soutenu le 07/ 07/ 2019 devant le jury composé de :*

Président : Mr BELHOUARI Fethi  
Examineur : Mr BELARIBI Omar  
Encadrant : M<sup>me</sup> BELAS Nadia  
Invité d'honneur : Mr SITAYEB Saïd

## **Remerciements**

*Tous d'abord, on remercie ALLAH TAALA de nous avoir donné du courage et de la patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Au moment d'exprimer notre reconnaissance envers les personnes qui ont, de près ou loin, contribué à la réalisation de ce travail, nous souhaitons tout d'abord remercier M<sup>me</sup> BELAS NADIA qui a dirigé ce mémoire. Elle a su guider nos choix, nous faire profiter de ses connaissances et nous accorder sa confiance. La simplicité et la franchise de son contact ont largement contribué à rendre ce semestre agréable.*

*Messieurs BELHOUARI FETHI et BELARIBI OMAR qui ont participé à l'évaluation de ce travail. Nous les en remercions sincèrement.*

*On remercie chaleureusement toute l'équipe du département de Génie Civil de l'université ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM.*

*Ce travail a été réalisé grâce à l'équipe de Cosider : le directeur M<sup>r</sup> SITAYEB SAID, les ingénieurs du Laboratoire Central des Matériaux (LCM) NEKHILI SOFIANE, LATRECHE MOHAMED AMINE et DALI ELHOSSEYN.*

*Sans oublier l'équipe sincère et merveilleuse de GICA : « le directeur M<sup>r</sup> MAERAF, M<sup>r</sup> MAAMAR et M<sup>elle</sup> IMENE ».*

*On a évidemment une pensée pour toutes celles et ceux qui nous ont permis de mener à bien cette thèse. Un grand merci à nos familles surtout nos parents qui nous ont toujours soutenues, conseillées et aidées. Merci aussi à tous nos amis et nos collègues.*

*Merci pour tout ce qu'ils nous ont apporté, consciemment ou inconsciemment.*

**Merci**

## **Dédicace**

*On voudra dédier ce travail à :*

*Nos chers parents pour lesquelles les mots ne suffiront pas pour témoigner toute notre gratitude pour leur entière disponibilité, leur assistance et leur dévouement tout au long de nos cursus et la réalisation de ce travail, à toutes nos familles pour leur aide.*

*Nos chers amis spécialement Taha, Hiba, Dalel, Asma, Haoua, Amina, Bouchera, Wahiba et Khadija.*

*Tous les étudiants de la faculté des sciences et technologie de l'université de Mostaganem, et à nos camarades de promotion de Structure.*

**CHERGUIA TOUATIA**

**BENMERDJA ROUBA**

## SOMMAIRE

REMERCIEMENT	
DEDICACE	
RESUME	
ABSTRACT	
ملخص	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GEGERALE.....	1

### PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE COULIS DE CIMENT

1.INTRODUCTION .....	3
2.COULIS DE CIMENT.....	4
2.1.Le ciment.....	4
2.2.L'eau de gâchage.....	4
2.3.Les adjuvants.....	5
2.3.1.Extraits secs d'adjuvants .....	5
2.3.2.Adjuvants permettant de diminuer les quantités d'eau de gâchage.....	5
2.3.3.Classification des adjuvants.....	6
2.3.4.Les avantages des adjuvants.....	6
3.LE CHOIX DES COULIS.....	7
4.LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES COULIS.....	7
4.1.Le comportement rhéologique du coulis.....	7
4.1.1.Seuil de cisaillement.....	8
4.1.2.Viscosité.....	8
4.1.3.Thixotropie.....	9
4.1.4.Décantation.....	9
5.CONCLUSION.....	10

#### CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES FIBRES

<b>1.INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
<b>2.LES FIBRES.....</b>	<b>11</b>
<b>3.UTILISATION DES FIBRES DANS LE BETON.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.Amélioration des caractéristiques mécaniques.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.Contrôle de la fissuration de retrait.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.Avantages du béton fibré.....</b>	<b>13</b>
<b>3.4.Applications.....</b>	<b>14</b>
<b>4.TYPES DES FIBRES ET PROPRIETES.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.Fibres synthétiques.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1.Les microfibres synthétiques.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.2.Les macrofibres synthétiques.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.Fibres métalliques.....</b>	<b>16</b>
<b>5.CONCLUSION.....</b>	<b>18</b>
 <b>CHAPITRE 3 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SIFCON</b>	
<b>1.INTRODUCTION.....</b>	<b>19</b>
<b>2.PREPARATION .....</b>	<b>20</b>
<b>3.COMPOSITION DU SIFCON.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.Les fibres métalliques.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.Matrice de SIFCON.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.Les proportions du mélange.....</b>	<b>23</b>
<b>4.PROPRIETES PHYSICO – MECANIQUES DU SIFCON.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.Masse volumique.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.Résistance à la compression.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1.Résistance à la compression.....</b>	<b>26</b>
<b>5.DURABILITE DE SIFCON.....</b>	<b>27</b>
<b>6.APPLICATIONS DU SIFCON .....</b>	<b>28</b>
<b>7.STRUCTURES RESISTANTES AUX TREMBLEMENTS DE TERRE.....</b>	<b>28</b>
<b>8.REPARATION ET MODERNISATION DE COMPOSANTS STRUCTURELS</b>	
<b>.....</b>	<b>29</b>

<b>9.STRUCTURES RESISTANTES AUX EXPLOSIONS.....</b>	<b>30</b>
<b>10.AUTRE APPLICATION.....</b>	<b>31</b>
<b>11.CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>PROBLEMATIQUEET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....</b>	<b>33</b>

## **PARTIE II: MATERIAUX UTILISES ET METHODES EXPERIMENTALES**

### **CHAPITRE1 : MATERIAUX UTILISES**

<b>1.INTRODUCTION.....</b>	<b>35</b>
<b>2.LE CIMENT.....</b>	<b>35</b>
<b>3.L'ADJUVANT.....</b>	<b>37</b>
<b>4.EAU.....</b>	<b>39</b>
<b>5.LES FIBRES.....</b>	<b>39</b>
<b>6.CONCLUSION.....</b>	<b>41</b>

### **CHAPITRE 2 : METHODES EXPERIMENTALES**

<b>1.INTRODUCTION.....</b>	<b>43</b>
<b>2.CARACTERISATION DES MATERIAUX.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1.Essais sur le ciment anhydre.....</b>	<b>43</b>
2.1.1.Masse volumique absolue.....	43
2.1.2.Masse volumique apparente.....	45
2.1.3.Mesure de la finesse.....	46
<b>2.2.Essai sur les fibres.....</b>	<b>47</b>
2.2.1.Mesure de la masse volumique.....	47
<b>2.3.Essais sur pates normalisées .....</b>	<b>49</b>
2.3.1.Essai de consistance.....	49
2.3.2.Essais de prise.....	51
<b>3.METHODES DU COULIS (CONE DE MARSH).....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.Objectif de l'essai.....</b>	<b>53</b>
<b>3.4.Equipement nécessaire utilisé.....</b>	<b>54</b>
3.4.1.Malaxeur.....	54

3.4.2.Cône de Marsh.....	55
3.4.3.Chronomètre.....	56
3.5.Composition des coulis de ciment.....	56
3.5.1.Malaxage du coulis.....	57
3.5.2.Mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh.....	58
4.METHODES DE PREPARATION DU BETON (SIFCON).....	59
4.1.Matériaux et proportions de mélange .....	59
4.2.Confection du béton.....	60
4.3.Conservation des éprouvettes.....	62
4.4.Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	63
4.5.Resistances mécaniques des bétons.....	63
4.5.1Mesure des résistances à la compression et à la traction.....	63
<a href="#">4.5.2.Objectif de l'essai</a> :.....	63
4.6.Propriété physique de béton.....	65
4.6.1.Essai de mesure de la masse volumique.....	65
5.CONCLUSION.....	66

## **PARTIE III: RESULTATS ET ANALYSES**

### **CHAPITRE 1: CARACTERISATION DES MATERIAUX**

1.INTRODUCTION.....	67
2.LA MASSE VOLUMIQUE (ABSOLUE ET APPARENTE).....	67
3.SURFACE SPECIFIQUE DE BLAINE.....	67
4.CONSISTANCE .....	68
5.TEMPS DE PRISE.....	68
6.LA MASSE VOLUMIQUE DES FIBRES.....	69
7. CLASSE DE RESISTANCE DU CIMENT.....	69
8.CONCLUSION.....	70

### **CHAPITRE 2 : LE COULIS ET LE BETON A L'ETAT FRAIS**

1.INTRODUCTION.....	71
---------------------	----

<b>2.ANALYSE DES PROPRIETES DES COULIS DE CIMENT .....</b>	<b>71</b>
<b>2.1.L'influence du Dosage en Superplastifiant sur la fluidité du coulis à 5 et 60 minutes.....</b>	<b>71</b>
<b>2.2.Perte de fluidité.....</b>	<b>72</b>
<b>3.ANALYSE DES PROPRIETES DES BETONS .....</b>	<b>73</b>
<b>3.1.Méthode de mélange 1.....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.Méthode de mélange 2.....</b>	<b>74</b>
<b>3.3.Formulation des bétons.....</b>	<b>74</b>
<b>4.CONCLUSION.....</b>	<b>74</b>
<b>CHAPITRE 3 : BETON A L'ETAT DURCI</b>	
<b>1.INTRODUCTION.....</b>	<b>76</b>
<b>2.LA MASSE VOLUMIQUE DE SIFCON.....</b>	<b>76</b>
<b>3.PERFORMANCES MECANQUES.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1.Mélange 1.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.Mélange 2.....</b>	<b>79</b>
<b>3.3.Comparaison des deux méthodes.....</b>	<b>81</b>
<b>4.CONCLUSION .....</b>	<b>83</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>84</b>

## Liste des figures

### PARTIE I

#### CHAPITRE 2

Figure I.2.1:Texture d'un béton fibré.....	13
Figure I.2.2 : microfibrés synthétiques.....	15
Figure I.2.3 : Macrofibrés synthétiques.....	16
Figure I.2.4 : Géométrie des fibrés métalliques.....	17
Figure I.2.5 : Fibrés métalliques.....	17

#### CHAPITRE 3

Figure I.3.1 : Placement à la main des fibrés d'acier dans un moule.....	20
Figure I.3.2 : Infiltration de coulis aidée par des vibrations externes.....	20
Figure I.3.3 : Un exemple d'échec de la préparation à cause de manque de fluidité de coulis.....	21
Figure I.3.4:Géométrie des fibrés métalliques.....	22
Figure I.3.5 : Effet de la teneur en fibrés d'acier sur la masse volumique de SIFCON.....	25
Figure I.3.6: Représentation schématique des joints SIFCON dans le système structural ...	29
Figure I.3.7:schéma de principe d'une structure de silo durci contenant SIFCON.....	31

### PARTIE II

#### CHAPITRE 1

Figure II.1.1 : L'adjuvant utilisé.....	39
Figure II.1.2 : Type de fibrés utilisés.....	40

#### CHAPITRE 2

Figure II.2.1 : Procédure de mesure de la masse volumique absolue du ciment.....	45
Figure II.2.2 : Procédure de mesure de la masse volumique apparente du ciment.....	46
Figure II.2.3 : L'appareil de Blaine.....	47
Figure II.2.4 : Méthode de l'éprouvette graduée.....	48
Figure II.2.5 : mesure de la masse volumique des fibrés.....	49
Figure II.2.6 : Appareil de VICAT muni de sa sonde de consistance.....	49
Figure II.2.7 : Appareil de Vicat muni d'aiguille.....	52
Figure II.2.8 : Cône de Marsh utilisé dans la méthode de coulis.....	53

<b>Figure II.2.9</b> : Ecoulement de coulis.....	54
<b>Figure II.2.10</b> : Malaxeur normalisé.....	55
<b>Figure II.2.11</b> : Cône de Marsh.....	56
<b>Figure II.2.12</b> : Chronomètre.....	56
<b>Figure II.2.13</b> : Préparation du coulis.....	58
<b>Figure II.2.14</b> : Remplissage du cône.....	58
<b>Figure II.2.15</b> : Mesure le temps d'écoulement.....	58
<b>Figure II.2.16</b> : Mode opératoire pour la mesure de fluidité du coulis.....	59
<b>Figure II.2.17</b> : moule normalisé.....	60
<b>Figure II.2.18</b> : Les étapes de préparation du mélange 1.....	61
<b>Figure II.2.19</b> : Les étapes de préparation du mélange 2.....	62
<b>Figure II.2.20</b> : Le démoulage des éprouvettes.....	63
<b>Figure II.2.21</b> : conservation des éprouvettes dans un bac rempli d'eau.....	63
<b>Figure II.2.22</b> : machine de compression utilisée.....	64
<b>Figure II.2.23</b> : machine de flexion utilisée.....	65
<b>Figure II.2.24</b> : Disposition de rupture en traction par flexion.....	65
<b>Figure II.2.25</b> : Les pesées des éprouvettes.....	66

## **PARTIE III**

### **CHAPITRE 1**

<b>Figure III.1.1</b> : Evaluation de temps de prise du ciment CEM II.....	69
<b>Figure III.1.2</b> : Evaluation de la résistance à la compression du ciment.....	70

### **CHAPITRE 2**

<b>Figure III.2.1</b> : Variation des temps d'écoulement à 5 et 60 minutes pour les coulis.....	72
<b>Figure III.2.2</b> : Perte de fluidité pour les coulis.....	73

### **CHAPITRE 3**

<b>Figure III.3.1</b> : Processus d'écrasement des éprouvettes dans les presses.....	77
<b>Figure III.3.2</b> : Evolution des résistances à la traction du mélange1.....	78
<b>Figure III.3.3</b> : Aspect des éprouvettes destinées à l'essai de traction.....	79

<b>Figure III.3.4</b> : Evolution des résistances à la compression du mélange1.....	79
<b>Figure III.3.5</b> : Résistances à la traction du mélange 2.....	80
<b>Figure III.3.6</b> : Résistances à la compression du mélange 2.....	81
<b>Figure III.3.7</b> : Aspect des éprouvettes destinées à l'essai de compression.....	81
<b>Figure III.3.8</b> : Comparaison des résistances à la compression entre les deux méthodes.....	82
<b>Figure III.3.9</b> : Comparaison des résistances à la traction entre les deux méthodes.....	82

## Liste des tableaux

### Partie I

#### Chapitre 3

<b>Tableau I.3.1</b> : Modèles de mélanges de SIFCON tirés de la littérature .....	24
<b>Tableau I.3.2</b> : Conceptions et valeurs de force signalées.....	27
<b>Tableau I.3.3</b> : Proportions de mélange en kg/m <sup>3</sup> .....	28

### Partie II

#### Chapitre 1

<b>Tableau II.1.1</b> : Composition chimique du ciment utilisé.....	36
<b>Tableau II.1.2</b> : Composition minéralogique du clinker.....	36
<b>Tableau II.1.3</b> : Caractéristiques physiques du CPJ CEM II 42,5.....	37
<b>Tableau II.1.4</b> : résistance à la compression de ciment CEM II.....	37

#### Chapitre 2

<b>Tableau II.2.1</b> : Composition des coulis .....	57
--	----

### Partie III

#### Chapitre 1

<b>Tableau III.1.1</b> : Masse volumique absolue et apparente du ciment CEM II.....	67
<b>Tableau III.1.2</b> : Surface spécifique de BLAINE du ciment.....	68
<b>Tableau III.1.3</b> : Résultats de consistance.....	68
<b>Tableau III.1.4</b> : Résultats des temps de prise.....	68
<b>Tableau III.1.5</b> : résistance à la compression de ciment CEM II.....	70

#### Chapitre 2

<b>Tableau III.2.1</b> : Dosages des constituants pour 1L.....	71
<b>Tableau III.2.2</b> : Les résultats obtenus de temps d'écoulement de coulis à 5 et à 60 min.....	72
<b>Tableau III.2.3</b> : Résultats de la perte de fluidité des coulis.....	73
<b>Tableau III.2.4</b> : Dosages des constituants pour 1kg/m <sup>3</sup> .....	74

#### Chapitre 3

<b>Tableau III.3.1</b> : la masse volumique de SIFCON du mélange 1.....	76
---	----

<b>Tableau III.3.2</b> : la masse volumique de SIFCON du mélange 2.....	76
<b>Tableau III.3.3</b> : Résistances à la compression et à la traction (mélange 1).....	78
<b>Tableau III.3.4</b> : Résistance à la compression et à la traction (mélange 2).....	80

## RESUME

Le béton à infiltration de coulis (SIFCON) a été produit pour la première fois en 1979 aux États-Unis, en incorporant de grandes quantités de fibres d'acier dans les moules pour former un réseau très dense de fibres. Le réseau est ensuite infiltré par un coulis ou un mortier à base de ciment liquide fin. La teneur en fibres d'acier peut atteindre 30 % en volume. Ce pourcentage ne dépasse pas généralement 2 % en béton armé de fibré (FRC) pour des raisons liées au mélange et à la maniabilité. En raison de sa teneur élevée en fibres, le SIFCON démontre des propriétés mécaniques uniques et supérieures dans les domaines de la résistance et de la ductilité.

Le SIFCON est un nouveau type de béton dans notre pays; alors il faut bien l'élaborer et l'étudier pour le développer dans la réalisation des grands ouvrages.

Compte tenu de ce qui précède, les objectifs de cette étude sont de fournir des informations sur la façon de mélanger le SIFCON et sur le comportement à la traction et à la compression. Cette information aide à fournir une base de données nécessaire et les connaissances sur la capacité du SIFCON à résister aux conditions extrêmes, en particulier lorsqu'il est destiné à résister aux chocs et aux explosions.

L'étude inclut les effets sur le SIFCON du type de mélange (méthode 1 ou méthode 2), sur la teneur en fibres (5 % en volume), sur la géométrie de fibre d'acier (à crochet).

Les résultats obtenus indiquent que le SIFCON, surtout lorsqu'il est préparé à l'aide de la méthode 1, a montré un bon comportement à la traction et à la compression.

L'étude de tous les paramètres susceptibles d'influencer sur les propriétés du béton est très difficile à réaliser dans un laboratoire, car cela nécessite du temps, des moyens parfois sophistiqués et la collaboration de plusieurs chercheurs.

**Mots clés** : Coulis – Fibres – SIFCON – Compression - Traction

## **ABSTRACT**

Slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) was first produced in 1979 in the United States, incorporating large amounts of steel fibers into moulds to form a very dense network of fibers. The network is then infiltrated by a fine liquid cement-based slurry or mortar made from fine liquid cement. The steel fiber content can be as high as 30% in volume. This percentage does not generally exceed 2% in fibrous reinforced concrete (FRC) for mixing and handling reasons. Because of its high fibre content, SIFCON demonstrates unique and superior mechanical properties in the areas of resistance and ductility.

SIFCON is a new type of concrete in our country; then it must be well developed and studied in order to develop it in the realization of the great works.

Depending on what is said, the objectives of this study are to provide information on how to mix SIFCON and on traction and compression behaviour. This information helps to provide a necessary database and knowledge about SIFCON's ability to withstand extreme conditions, especially when it is intended to withstand shocks and explosions.

The study includes the effects on SIFCON of the type of mixture (method 1 or method 2), on the fiber content (5% in volume), on the geometry of steel fiber (hooked).

The results indicate that SIFCON, especially when prepared using Method 1, has shown good traction and compression behaviour.

The study of all the parameters that can influence the properties of concrete is very difficult to achieve in a laboratory, as it requires time, sometimes sophisticated means and the collaboration of several researchers.

Keywords: Slurry - Fibers - SIFCON - Compression – Traction.

## ملخص

تم إنتاج خرسانة المخترقة بالألياف (SIFCON) لأول مرة في عام 1979 في الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك من خلال دمج كميات كبيرة من الألياف المعدنية في قوالب لتشكيل شبكة كثيفة جدا من الألياف بحيث يتم اختراق الشبكة بواسطة جص سائل ناعم متكون من الإسمنت. يمكن أن يصل محتوى الألياف إلى 30% من حيث الحجم، هذه النسبة لا تتجاوز عادة 2% من الألياف في الخرسانة معززة بالألياف (FRC) لأسباب تتعلق بالخليط وإمكانية العمل. نظرا إلى محتواها من الألياف العالية (SIFCON) يدل على خصائص ميكانيكية فريدة ومتفوقة في مجالات القوة والليونة. (SIFCON) هو نوع جديد من الخرسانة في بلدنا، لذلك يستحق بغرض استعماله دراسته لتطويره في المنشآت الكبرى.

وبالنظر إلى ما سبق ذكره، فإن أهداف هذه الدراسة هي تقديم معلومات حول كيفية خلط (SIFCON)، ودراسة سلوكه في الشد والضغط، وهذه المعلومات سوف تساعد في توفير قاعدة البيانات اللازمة والمعرفة حول قدرة (SIFCON) على تحمل الظروف التي تم تصميمها دون تدهور، وخصوصا عندما كان المقصود أن تستخدم في بيئات عدوانية.

وشملت التحقيقات دراسة آثار ما يلي على (SIFCON):

- نوع الخلط (الطريقة الأولى أو الطريقة الثانية)،
- محتويات الألياف (5% من الحجم)،
- الشكل الهندسي للألياف الصلبة.

النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أن (SIFCON)، وخاصة عند إعدادها باستخدام الطريقة 1، أظهرت الفعالية في الشد والضغط.

دراسة جميع الإعدادات التي يمكن أن تؤثر على خصائص هذه الخرسانة هي صعوبة تشكيله في المخبر، لأنه يتطلب الوقت، وسائل متطورة في بعض الأحيان والتعاون من قبل العديد من الباحثين.

**الكلمات المفتاحية:** تسلل الجص المخترق بالألياف (SIFCON)، والألياف الفولاذية، والسلوك في الشد والضغط.

## INTRODUCTION GENERALE

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions nouvelles. Non seulement, il peut être moulé dans les formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, il est peu combustible et peu toxique.

Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation : il est fragile et résiste mal à la traction. Cependant, la récente mise au point de produits composites renforcés de fibres dans les secteurs de l'aérospatiale et des plastiques a offert la possibilité de pallier ces lacunes.

Bien qu'étant un matériau de construction le plus utilisé de nos jours, le béton possède néanmoins une propriété très nocive, pour la sécurité des structures (sa fissuration).

Pour tenter de remédier à cet aspect négatif, on a imaginé plusieurs procédés dont celui d'armer le béton par l'intermédiaire de barre d'acier (Béton armé classique).

Un autre procédé consiste à éviter de faire travailler le béton en traction grâce à une compression préalable : c'est le béton précontraint.

Il existe un nouveau type de béton appelé SIFCON ; le **Béton à infiltration de coulis**. C'est un composite cimentaire multi-échelles fibré, ayant un comportement écrouissant et fortement ductile en traction uniaxiale et suffisamment résistant en compression et en traction, pour concevoir des structures ou des éléments structuraux sans autres renforts que les fibres métalliques.

Le SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete) est une méthode utilisée pour la construction de certaines applications spécifiques telles que du coulis mis en place et du béton préfabriqué destiné à des profils ou à des structures de hautes résistances aux impacts et aux explosions. En raison de sa forte résistance à la flexion et à la compression, combinée à une forte ductilité, le SIFCON a été utilisé pour faire des conteneurs pour stocker divers type de munitions.

Le processus consiste à placer les fibres dans le moule ou dans un coffrage et à insérer le coulis de ciment par la suite. Cette méthode exclut l'utilisation de granulats fins ou grossiers.

L'avantage de cette méthode est de permettre l'utilisation d'un taux élevé de fibres pouvant Atteindre 20%. Il est nécessaire d'utiliser la vibration externe pour faire l'introduction du coulis de ciment.

De part son originalité, ce sujet entre dans le cadre de la collaboration entre le Laboratoire Cosider Engineering et le Laboratoire Construction Transport et Protection de l'Environnement qui va être concrétisée prochainement par la signature d'une convention mutuelle.

Ce projet innovant concerne l'élaboration du SIFCON à base des fibres métalliques. Nous n'avons au départ aucune base de recherche sur ces produits sur laquelle s'appuyer. En effet, il n'existe pas ou très peu de travail de recherche à ce sujet localement.

Nous avons donc commencé dans un domaine très ouvert où nous n'avions pas au départ d'objectif fixe à atteindre. La première des choses qu'il a fallu fixer était les dosages (teneur) des produits que nous allions étudier comme l'adjuvant et les fibres.

Cette étude a été scindée en trois principales parties :

La première représente l'étude bibliographique composée de trois chapitres :

Dans le premier, nous avons évoqué les différentes techniques de mise en œuvre et constituants du coulis. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons présenté l'utilisation des fibres dans le béton et les types de fibres et leurs propriétés. Le dernier chapitre décrit le nouveau type de béton (SIFCON), nous avons mentionné sa composition, ses applications, mécanismes d'action et sa caractérisation.

La deuxième partie s'intéresse à l'identification et la caractérisation des différents matériaux retenus dans le programme expérimental donc cette partie s'intéresse au composé « le coulis et le béton à infiltration de coulis » et présente la méthodologie des essais et les mesures.

La troisième partie consiste à présenter l'ensemble des résultats et les analyses de la campagne expérimentale menée sur le coulis et le béton. Cette partie comporte trois chapitres ; le premier dédié aux résultats des essais de caractérisation des matériaux utilisées ; le deuxième est consacré aux propriétés de coulis et le béton à l'état frais ; et le troisième chapitre présente les résultats relatifs aux propriétés mécaniques de béton à l'état durci.

Enfin, une conclusion générale sur notre étude ainsi que d'éventuelles perspectives sont présentées pour la continuité de ce travail.

Partie I :

Etude Bibliographique

# Chapitre 1 :

## Généralités sur le coulis de ciment.

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE COULIS DE CIMENT

### 1. INTRODUCTION

Le coulis est un mélange très fluide à base de charges fines inférieures à 0,3 mm de liants hydrauliques et adjuvants. Il est utilisé pour renforcer des fondations, réparer des fissures dans des structures ou renforcer une maçonnerie de pierre dont les joints sont endommagés. Par sa proximité physico-chimique avec le mortier ou le béton, il peut être assimilé à ceux-ci (1).

Il existe deux techniques particulières de mise en œuvre qui intéressent de nombreuses applications(2) :

#### **La projection**

Fabriqués sur chantier ou plus généralement préposés, les mortiers projetés comportent, outre le liant et le sable habituels, des adjuvants spécifiques améliorant l'adhérence, des charges (silice, carbonate...), et parfois des fibres (verre, polypropylène, acier). Projeté à l'aide de machines le plus souvent à air comprimé, le mortier est plus compact, adhère mieux au support et se prête bien à son application sur des parties d'ouvrages difficiles d'accès et de forme irrégulière. La suppression de manipulations délicates et pénibles, ainsi que les gains de productivité, expliquent le succès du mortier projeté dans de nombreuses applications :

- enduits monocouches, enduits isolants ;
- revêtements de voûtes, en galeries, consolidation de talus ;
- travaux de réparation, etc....

#### **L'injection**

L'injection de mortier n'intéresse que certains types de travaux où les cavités à remplir sont suffisamment larges. Il est nécessaire que le diamètre maximum des grains de sable les plus gros ne dépasse pas le 1/5 des vides les plus fins à remplir. S'il n'en était pas ainsi, il faudrait utiliser des coulis d'injection. Comme dans le cas des coulis de ciment, le mortier d'injection doit être constitué de façon à être le plus « injectable » possible : grande fluidité pour un ressuage modéré (et, partant, une bonne stabilité, peu de ségrégation). Les applications de l'injection sont essentiellement le remplissage de cavités, gaines, enveloppes diverses, ou plus généralement

les vides d'accès difficile. L'injection est généralement pratiquée pour certains travaux sous l'eau, avec des formules de mortier étudiées pour éviter le délavage.

## 2. COULIS DE CIMENT

Il se compose de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

### 2.1 Le ciment

C'est des liants hydrauliques constitué des poudres fines qui, si on leur ajoute de l'eau, forment une pâte capable par hydratation de faire prise et de durcir progressivement au bout d'un temps plus ou moins long. Les composés obtenus sont stables au contact des eaux usuelles(3).

La normalisation européenne retient cinq catégories de ciments utilisables dans des bétons de structure (4) :

- **Les ciments Portland purs (CPA – CEM I)**, qui contient au moins 95% de clinker. Le pourcentage restant est appelé constituant secondaire.
- **Les ciments Portland composés (CPJ – CEM II/A ou B)**, dont la teneur en addition minérale est de 6 à 20 % pour la sous-catégorie A, et de 21 à 35 % pour la sous-catégorie B.
- **Les ciments de haut-fourneau (CHF – CEM III/A, B ou C)**, dont la teneur en laitier respective est comprise dans les intervalles suivants : [36, 65 %], [66, 80 %], [81, 95 %].
- **Les ciments pouzzolaniques (CPZ – CEM IV/A ou B)**, qui contiennent des pouzzolanes à hauteur de 10 à 35 % pour la catégorie A, et 36 à 55 % pour la catégorie B.
- **Les ciments au laitier et aux cendres (CLC – CEM V/A ou B)**, comprenant un mélange des deux types d'additions dans des proportions de 18 à 30 %, ou de 31 à 50 %, respectivement.

### 2.2 L'eau de gâchage

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte.

L'eau potable convient pour la confection des pâtes de ciment. S'il n'est pas possible d'utiliser de l'eau potable, il faut vérifier que l'eau disponible remplit les prescriptions de la norme EN 1008 : concentration en matières en **suspension** et sels dissous.

Pour les essais de laboratoire, les normes demandent d'utiliser de l'eau distillée en ce qui concerne les essais de référence (ceux qui permettent de vérifier la conformité des matériaux et des appareillages aux normes) et de l'eau potable pour les autres essais (5).

### 2.3 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques et solubles dans l'eau qui ajoutés aux matériaux cimentaires tel que les coulis, les mortiers de ciment et des bétons à doses qui doivent être inférieures ou égales à 5 % du poids de ciment, permettent d'améliorer certaines de ses propriétés. Ils sont définis par la norme EN 934-2 (6).

#### 2.3.1 *Extraits secs d'adjuvants (EN 480-8) (6)*

Quand ils se présentent sous forme liquide les adjuvants sont dissous dans de l'eau. Pour étudier les effets des adjuvants en laboratoire, il faut savoir quelle proportion d'extrait sec (c'est-à-dire d'adjuvant proprement dit) contient l'adjuvant du commerce. Pour cela on procédera conformément à la norme EN 480-8 :

- Pesée d'une masse  $m_1$  d'adjuvant dans un cristalliseur ( $m_1 \approx 2$  g),
- Mise du cristalliseur à l'étuve à  $105 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$  pendant 4 heures.

Soit  $m_2$  la masse d'adjuvant après refroidissement dans un dessiccateur. Le pourcentage d'extrait sec est :

$$\text{Extrait sec (\%)} = 100 \frac{m_2}{m_1}$$

#### 2.3.2 *Adjuvants permettant de diminuer les quantités d'eau de gâchage*

Ce sont les adjuvants les plus utilisés. Ils permettent, à ouvrabilité équivalente, de diminuer la quantité d'eau de gâchage des bétons et d'améliorer ainsi les qualités du béton durci.

Il s'agit :

- de plastifiants (type ligno-sulfonate), appelés aussi réducteurs d'eau qui permettent une réduction d'eau de l'ordre de 10 % à 15 % ;

- des superplastifiants appelés aussi fluidifiants ou hauts réducteurs d'eau ; ce sont des produits plus récents qui permettent des réductions d'eau supérieure, de l'ordre de 20 à 30 %.

Il en existe de trois types, naphthalène-sulfonate, résine mélamine et, plus récemment, éther polycarboxilique (7).

### **2.3.3. Classification des adjuvants**

#### **A. Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton**

- Plastifiants / Réducteurs d'eau ;
- Super plastifiants/ Haut réducteur d'eau ;
- Plastifiant / Réducteurs d'eau / réducteurs d'eau ;
- Super plastifiants/ Haut réducteurs d'eau/ Retardateur de prise ;
- Super plastifiants/ Haut réducteurs d'eau / Accélérateur prise (8).

#### **B. Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement**

- Accélérateurs de prise ;
- Accélérateurs de durcissement ;
- Retardateurs de prise (8).

#### **C. Autres catégories normalisées d'adjuvants**

- Hydrofuges de masse ;
- Entraîneur d'air ;
- Rétenteurs d'eau (9).

### **2.3.4. Les avantages des adjuvants**

- Diminuer le cout des constructions en béton ;
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens ;

- Assure la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et cure dans des conditions météorologiques défavorables ;
- Obvier à certaines urgences durant le bétonnage (10).

### **3. LE CHOIX DES COULIS**

Dans certains cas, seul un coulis déterminé peut convenir, mais dans d'autres cas, on peut hésiter entre différents coulis. La nature des terrains, le prix des coulis, sa pénétrabilité, le pratique de fabrication du coulis, le mode d'exécution des forages et des travaux, le climat du chantier, etc.... sont autant de facteurs qui entrent en jeu dans le choix de coulis.

### **4. LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES COULIS**

Les coulis sont généralement des liquides ou des suspensions cimentaires. Ils sont injectés sous pression, doivent permettre de remplir des fissures, cavités ou interstices des terrains afin d'améliorer la performance mécanique ou les caractéristiques hydrauliques du milieu traité.

Les caractéristiques à définir pour un coulis sont :

- A l'état frais, la viscosité, la thixotropie, le seuil de cisaillement et la stabilité.
- A l'état durci, la résistance mécanique est le facteur important pour caractériser des propriétés mécaniques des coulis, mais elle n'est recherchée que pour des scellements d'ancrages ou pour certaines consolidations dépendant des conditions d'utilisation des coulis. Une bonne résistance à l'arrachement est également nécessaire pour des coulis de scellement. Il doit en outre résister dans le milieu agressif.

#### **4.1. Le comportement rhéologique du coulis**

La connaissance du comportement rhéologique des coulis à l'état frais est très importante et nécessaire à la compréhension de leur écoulement lors de la mise en œuvre. Les propriétés rhéologiques du coulis peuvent varier suivant la température, la durée entre le malaxage et la mise en œuvre, le temps de malaxage du coulis, la nature des composantes ou le rapport eau/ciment.

Deux critères limitent la pénétration des coulis dans un terrain (11) :

- Les grains des coulis ne peuvent pas pénétrer les fissures s'ils sont de taille supérieure à celle des interstices du milieu
- La pénétration du milieu est physiquement possible, mais elle s'effectue à vitesse faible à cause des caractéristiques rhéologiques du coulis.

La deuxième raison qui est conditionnée par le comportement rhéologique des coulis. En Laboratoire ce comportement peut être déterminé de manière précise et complète à l'aide des rhéomètres qui permettent d'identifier la loi de comportement et donc les caractéristiques rhéologiques des coulis cimentaires.

Par ailleurs, dans la pratique industrielle de l'injection, on utilise le cône de Marsh qui est un outil simple normalisé pour caractériser rapidement et globalement la fluidité des coulis par la mesure de leur temps d'écoulement.

Enfin, s'il est primordial que les coulis puissent pénétrer le milieu du terrain, ceux-ci doivent également assurer une décantation suffisamment faible. Les coulis ne devront pas s'essorer trop rapidement et rester stable jusqu'à la prise.

#### ***4.1.1. Seuil de cisaillement***

Durant une injection d'eau ou de coulis, si celle-ci est arrêtée, la pression va diminuer et l'écoulement va s'arrêter. Par la suite, lorsqu'on applique à nouveau la pression, l'eau se remet à s'écouler immédiatement puisqu'elle n'a aucun seuil de cisaillement, alors que le coulis de son côté, exige une pression substantielle avant de recommencer à s'écouler : ceci caractérise un seuil de cisaillement. Le seuil de cisaillement des suspensions de coulis s'explique par la liaison entre les particules solides. Pour que le coulis s'écoule, il faut lui exercer une contrainte de cisaillement suffisamment élevée pour casser la liaison entre les grains de coulis. Il existe donc une valeur minimale de la contrainte de cisaillement pour initialiser l'écoulement des coulis. Cette valeur minimale est appelée seuil d'écoulement.

Le seuil de cisaillement est la contrainte de cisaillement minimum à atteindre pour que le fluide s'écoule.

Le seuil d'écoulement des coulis dépend de la concentration volumique, et de la finesse des grains de coulis. Plus la concentration et la finesse des grains de coulis sont élevées, plus le seuil d'écoulement n'augmente.

#### ***4.1.2. Viscosité***

La viscosité est une grandeur physique qui joue un rôle important dans le comportement rhéologique. Sa connaissance suffit parfois à caractériser de façon précise le comportement

rhéologique du matériau. La viscosité du coulis peut être évaluée par deux méthodes de mesure :

- le temps d'écoulement au cône (s) : il caractérise l'aptitude à l'écoulement des coulis.
- le viscosimètre à cylindres coaxiaux (Pa)

Suivant la consistance des coulis, l'un ou l'autre des diamètres d'ajustage suivants peut être utilisé :

- Ajustage de 4,75mm (cône de Marsh) pour les coulis fluides.
- Ajustage de (8 mm, 10 mm, 14 mm) coulis chargés.

#### ***4.1.3. Thixotropie***

Lorsque le coulis est soumis à une contrainte de cisaillement suffisamment élevée (supérieure au seuil d'écoulement), la liaison entre les grains du coulis est cassée et les particules sont dispersées en grains isolés ou en petits flocs indépendants. Si le mouvement continue, les flocs se dispersent en raison des forces de frottement et des chocs exercés par les grains ou les flocs adjacents. Par conséquent, la contrainte de cisaillement nécessaire pour maintenir l'écoulement diminue. Ceci correspond au fait que la viscosité du coulis diminue (12).

Néanmoins, lorsque la contrainte de cisaillement appliquée diminue, les nouveaux flocs peuvent être reformés entre les grains isolés ou avec les flocs existants par la force d'attraction entre les grains ou les flocs. Les grains de coulis ont tendance à restructurer l'état initial. Ceci correspond au fait que la viscosité du coulis augmente. Ce phénomène est appelé thixotropie.

#### ***4.1.4. Décantation***

On définit la décantation du coulis par la remontée d'eau qui se produit à la surface d'une suspension, à la suite de la sédimentation de ses particules. Le rapport E/C influence grandement la stabilité des coulis : plus il est élevé, plus la sédimentation est importante.

Les suspensions granulaires présentent une tendance à la décantation. Il en résulte un tassement et une remontée d'eau à la surface. Ce phénomène est lié au poids volumique des grains et provoque une hétérogénéité des caractéristiques mécaniques dans la masse du coulis. L'ajout d'un matériau stabilisant comme la bentonite dans la suspension du coulis permet de supprimer la décantation des grains de ciments.

La décantation s'exprime en % par :

$$\text{Décantation (\%)} = (V/V_0) \cdot 100\%$$

Où :

- V : volume d'eau de ressuée
- $V_0$  : volume initial de coulis

Un coulis est dit stable s'il reste homogène, c'est-à-dire si on observe l'absence de sédimentation et une exsudation faible. Un coulis stable doit avoir une décantation inférieure à 5% à 3 heures, cette valeur peut être limitée à 1 heure pour certaines applications telles que le clavage des ouvrages (13).

## 5. CONCLUSION

On conclut dans ce chapitre les différents constituants du coulis, les mécanismes d'action et sa caractérisation.

L'étude du comportement rhéologique des coulis de ciment est intéressante à cause non seulement de leur utilisation comme un moyen de réparation mais également pour la relation de cette étude avec les propriétés du béton frais. Les caractéristiques du ciment qui influencent la consistance, la maniabilité et l'affaissement du béton sont d'un intérêt universel. Il est important de comprendre comment contrôler les propriétés rhéologiques des coulis de ciment pour pouvoir mieux arriver à une formulation de béton idéale, tant sur la qualité que sur l'économie ainsi que sa mise en œuvre facile et adéquat.

# Chapitre 2 :

# Généralité sur les fibres

## CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES FIBRES

### 1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons décrire ou faire connaître, historiquement, ce nouveau constituant (fibres), son influence sur la matrice cimentaire, le nouveau comportement mécanique, thermique et d'autres propriétés du béton contenant les fibres ; sans oublier de mentionner les avantages des fibres dans le béton, et leurs domaines d'utilisations.

### 2. LES FIBRES

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu. Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

Les types des fibres on retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre. Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants: Densité, Résistance tension et en compression, résistance aux impacts et à la fatigue, module d'élasticité, conductivités thermique et électrique, stabilité dimensionnelle, résistance aux conditions environnementales et coût.

### 3. UTILISATION DES FIBRES DANS LE BETON

Les fibres de différentes compositions incorporées au béton ont pour effet d'augmenter la résistance résiduelle du béton. Dans certains cas, l'utilisation de fibres permet de renforcer la

structure. En général, les fibres permettent une meilleure répartition des contraintes mécaniques. Ce chapitre présente les types d'ouvrages en béton fibré, les propriétés physiques majeures liées à l'utilisation de fibres et les avantages du béton fibré (14).

### **3.1. Amélioration des caractéristiques mécaniques**

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation (14).

### **3.2. Contrôle de la fissuration de retrait**

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en postfissuration. Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat. L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le retrait plastique. Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux contrôlées. Les fissures sont donc plus minces, moins longues et mieux distribuées sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu (14).



**Figure I.2.1:** Texture d'un béton fibré

### 3.3. Avantages du béton fibré

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique (14).

Aspect technique :

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé. Les principaux avantages techniques sont :

- un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton.
- une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post fissuration (résistance résiduelle).
- une énergie d'absorption élevée.
- une résistance aux impacts élevée.
- une résistance à la fatigue élevée.
- une augmentation de la résistance en cisaillement.

Aspect économique :

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction.

- du coût de mise en place et du temps de construction.
- une optimisation du dimensionnement.

### **3.4. Applications**

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages.

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles (14).

## **4. TYPES DES FIBRES ET PROPRIETES**

Il existe sur le marché diverses catégories de fibres pouvant être incorporées au béton. Voici les quatre classes de fibres existantes (15):

- synthétique (acrylique, aramide, carbone, nylon, polyester, polyéthylène et polypropylène).
- naturelle (bagasse, noix de coco, jute, maguey, banane, palmier et bambou).
- métallique (inoxydable, galvanisé, fil étiré à froid, tôle découpée, extrusion de matière fondue).
- verre (sodocalcique, borosilicaté, Cem-Fil et NEG).

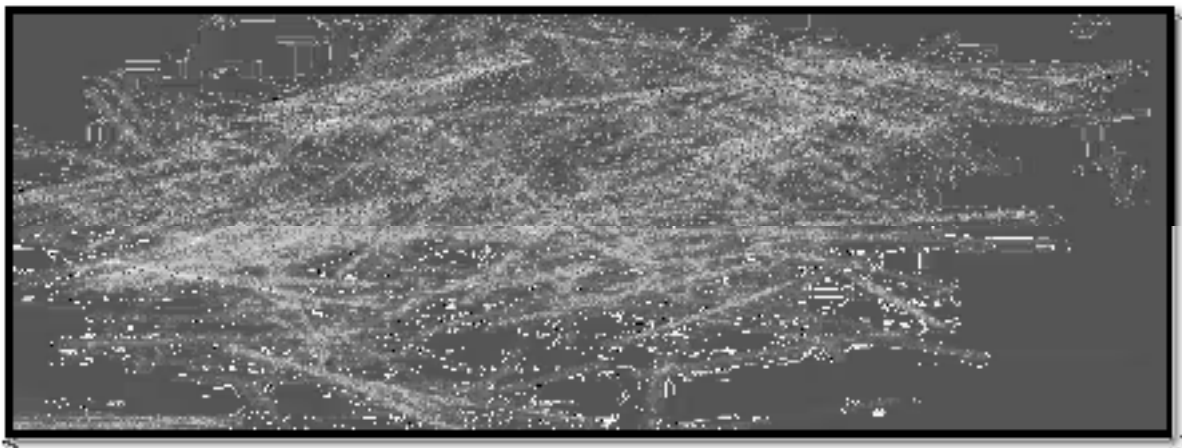
### **4.1. Fibres synthétiques**

Les fibres synthétiques proviennent des polymères organiques et sont le résultat de recherches et des développements de l'industrie pétrochimique et du textile. Les fibres reconnues comme les plus résistantes sont : les polyoléfines, les polypropylènes, les polyéthylènes, le nylon et le carbone. Les fibres synthétiques s'incorporent à la pâte de ciment sans provoquer de réaction chimique et sans se corroder. De plus, l'allongement à la rupture des fibres synthétiques, qui est de 15 à 20 %, favorise la ductilité du béton. Les fibres synthétiques tirées des matières plastiques sont, par contre, peu résistantes au feu. La température de fusion ou température à laquelle les fibres deviennent très molles et perdent leurs propriétés est d'environ 160°C.

L'appendice H de la norme CSA A23.1 classe les fibres synthétiques en deux catégories selon leur dimension : les microfibrilles et les microfibrilles synthétiques (14).

#### ***4.1.1. Les microfibrilles synthétiques***

La classification des microfibrilles synthétiques s'effectue à partir de la dimension et du poids de la fibre, conformément à l'industrie du textile. Le diamètre ou le diamètre équivalent doit être converti en denier. Les microfibrilles synthétiques sont en forme de mono filament très fin ou fibrillé (figure I.2.2). Leur longueur varie de 0,8 à 50 mm et leur diamètre est inférieur à 0,2 mm Les microfibrilles synthétiques sont utilisées pour diminuer le retrait plastique. L'amélioration des propriétés mécaniques par l'utilisation de microfibrilles synthétiques est proportionnelle à leur taux d'addition et à leur efficacité. De plus, ces fibres apportent une augmentation de la ténacité du béton et, par le fait même, elles améliorent son comportement en post fissuration (14).



**Figure I.2.2 : microfibrilles synthétiques**

#### ***4.1.2. Les microfibrilles synthétiques***

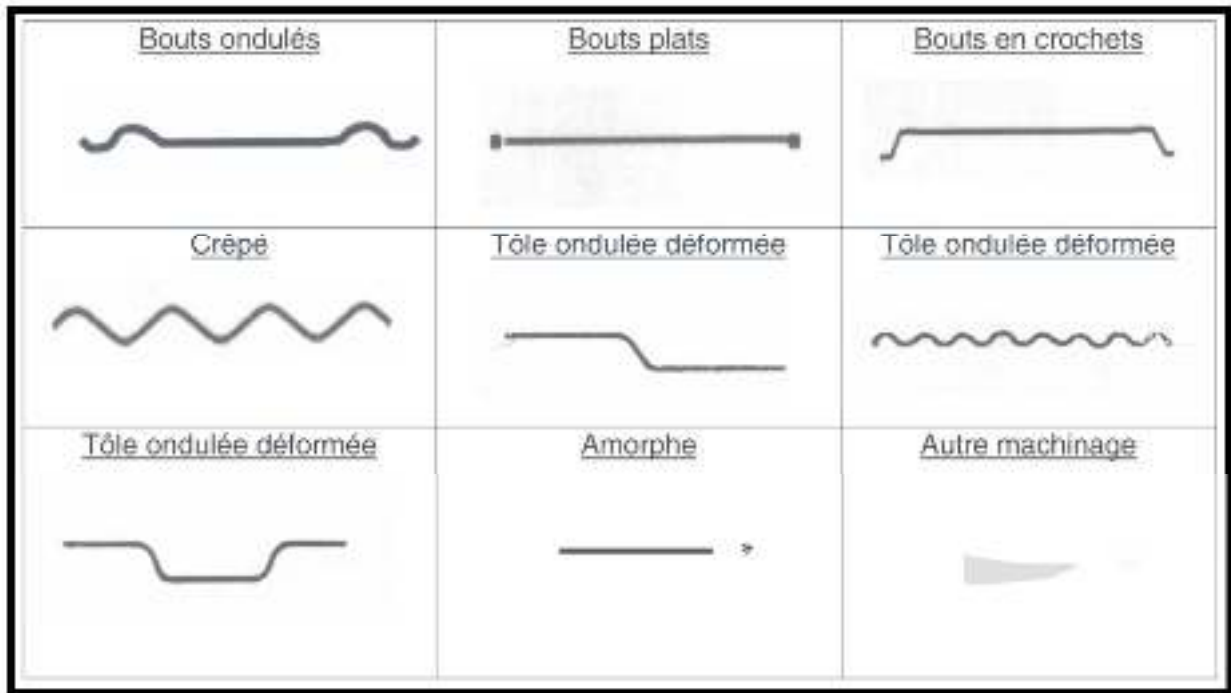
Ces fibres sont en forme de filaments grossiers (figure I.2.3). Leur longueur varie de 25 à 65 mm et leur diamètre équivalent est de 0,2 à 1,2 mm L'utilisation de ce type de fibre permet une meilleure résistance aux impacts et à la fatigue et améliore le contrôle de la fissuration. Certains types de fibres sont aussi reconnus pour diminuer la fissuration provoquée par le retrait plastique (14).



**Figure I.2.3** : macrofibres synthétiques

#### **4.2. Fibres métalliques**

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. La figure (I.2.4) présente différentes géométries de fibres métalliques. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm. La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples (ASTM A 820) (14).

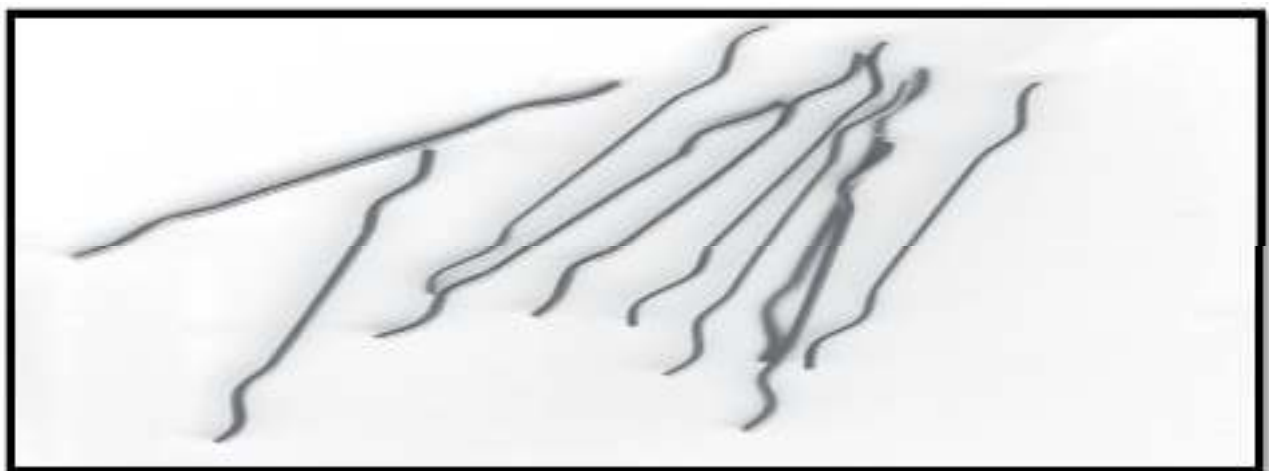


**Figure I.2.4 :** Géométrie des fibres métalliques

La norme ASTM A 820 identifie cinq types de fibres métalliques (14) :

- type I : fil étiré à froid.
- type II : tôle découpée.
- type III : extrusion de matière fondue.
- type IV : autres fibres.
- type V : fabriqués par rasage de fil tréfilé

La plupart des fibres disponibles sur le marché sont de type I (figure I.2.5)



**Figure I.2.5 :** Fibres métalliques

## 5. CONCLUSION

Les innovations constructives, qui font souvent appel à de nouveaux matériaux, ont rendu les ciments renforcés de fibres très populaires. La possibilité d'améliorer la résistance à la traction et au choc permet d'envisager une réduction du poids et de l'épaisseur des éléments, et devrait aussi réduire les dommages attribuables au transport et à la manutention. Les recherches qu'on a citées si dessus nous ont montré que parmi les facteurs qui influent sur la ductilité et la capacité de la résistance des bétons fibrés, on trouve la quantité de fibres, le type de fibres et la dispersion de celles-ci.

## Chapitre 3 :

### REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SIFCON

## CHAPITRE 3 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SIFCON

### 1. INTRODUCTION

SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete ou Béton à Infiltration de Coulis) a été produit pour la première fois en 1979 par le laboratoire de matériaux Lankard, Columbus, Ohio, États-Unis, en incorporant de grandes quantités de fibres d'acier dans des mélanges cimentaires (15).

Ce béton(SIFCON) est un type spécial relativement renforcé de fibres (acier) à haute performance (BRFHP). Il est confectionné en plaçant des fibres dans les moules à sa pleine capacité ou à la fraction de volume souhaitée, formant ainsi un réseau. Le réseau de fibres est ensuite infiltré par un coulis liquide à base de ciment ou de mortier. Les fibres peuvent être saupoudré à la main ou en utilisant des unités de dispersions des fibres pour de grandes sections. La vibration est imposée si nécessaire lors du placement des fibres et le coulis. La teneur en fibres d'acier peut être jusqu'à 30% en volume (16).

Dans un béton fibré conventionnel (BFC), où les fibres sont mélangées avec d'autres composants du béton, ce pourcentage est limité à seulement environ 2% pour des raisons pratiques de maniabilité (16).

En raison de sa haute teneur en fibres, le SIFCON a une qualité unique et des propriétés mécaniques de résistance et de ductilité intéressantes(16).

La principale différence entre le BFC et le SIFCON, en plus de la nette différence de fraction de volume de fibres, se trouve en l'absence d'agrégats grossiers dans le SIFCON qui, si utilisé, va entraver l'infiltration de coulis à travers le dense réseau de fibres. En outre, le SIFCON contient des quantités de ciment et d'eau relativement élevées par rapport au béton conventionnel.

Bien qu'il soit encore un produit de construction relativement nouveau, le SIFCON a été utilisé avec succès dans un certain nombre de domaines depuis le début des années 1980. Certaines de ces applications sont des éléments structurels résistants aux explosions et à l'abrasion, des tabliers de pont, chaussées d'aérodrome (17).

Plusieurs travaux de recherche sur l'étude des propriétés mécaniques du SIFCON ont été menés. Ils portent sur le comportement dans des conditions de charge différentes, propagation de fissure, ténacité, ductilité ou absorption d'énergie, élasticité en traction et compression.

## 2. PREPARATION

Le réseau de fibres placées à la main dans le moule (figure I.3.1) est infiltré par un coulis liquide à base de ciment ou de mortier. Le moule est ensuite soumis à la vibration grâce à une table vibrante pour assurer la bonne dispersion des fibres dans la matrice du coulis (figure 1.3.2).



**Figure I.3.1** : Placement à la main des fibres d'acier dans un moule



**Figure I.3.2** : Infiltration de coulis aidée par des vibrations externes

Le choix de la technique d'infiltration est largement dicté par la facilité avec laquelle le coulis déplace à travers les fibres. La figure I.3.3 montre un exemple de ce qui se passe si le coulis n'est pas assez fluide, ou si la vibration n'est pas assez intense.



**Figure I.3.3 :** Un exemple d'échec de la préparation à cause de manque de fluidité de coulis

### 3. COMPOSITION DU SIFCON

Les matériaux constitutifs primaires de SIFCON sont les fibres d'acier et le coulis. La matrice peut contenir:

- seulement le ciment (coulis ou pâte de ciment).
- ciment et sable (mortier).
- ciment et autres additifs (principalement des cendres volantes ou des fumées de silice).

Dans la plupart des cas, des adjuvants haut réducteurs d'eau (superplastifiants) sont utilisés afin d'améliorer la fluidité de coulis et assurer une infiltration complète sans augmenter le rapport eau-ciment (E/C). La posologie du superplastifiant a le plus d'effet sur la fluidité, la cohésion et la pénétrabilité des coulis de ciment.

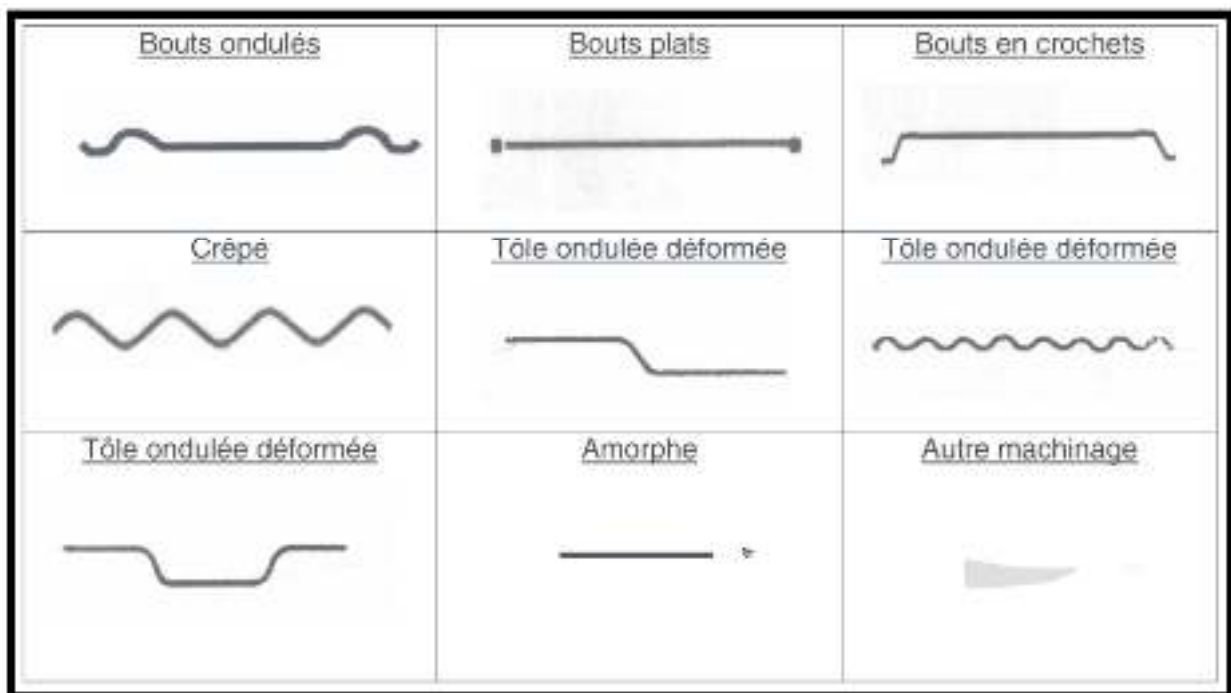
### 3.1. Les fibres métalliques

Une grande variété de fibres d'acier a été étudiée pour une utilisation dans le SIFCON dans le but de développer un meilleur ancrage mécanique et un meilleur lien entre les fibres et la matrice. Les types les plus utilisés sont les fibres à crochets et ondulées déformées (18-19).

Dans la plupart des cas, la section transversale des fibres d'acier est circulaire. Il peut aussi être rectangulaire, carré, triangulaire ou plat (20).

Des exemples typiques de fibres d'acier utilisés pour le SIFCON sont indiqués sur la figure I.3.4. Dans la plupart des applications aux États-Unis et en Europe, des fibres d'acier à extrémités crochetées ont été utilisées (17).

Les plus communes des fibres d'acier ont une longueur de 25 à 60mm, et un diamètre allant de 0,4 à 1mm. Leur rapport  $(l/d)$ , c'est-à-dire le rapport longueur sur diamètre est généralement inférieur à 100, avec une gamme commune de 40 à 80 (21).



**Figure I.3.4:** Géométrie des fibres métalliques

### 3.2. Matrice de SIFCON

La matrice de SIFCON ne contient pas de granulats grossiers qui ne peuvent pas s'infiltrer à travers les espaces minuscules entre les fibres d'acier. Les matrices des compositions étudiées dans la littérature comprennent : ciment, sable-ciment, cendres volantes - ciment, fumée de

silice-ciment, cendres volantes-ciment-sable et ciment-sable-fumée de silice (18, 22, 23-24). Matrices contenant des additions minérales telles que cendres volantes ou les fumées de silice ont montré un meilleur comportement au retrait (17). L'addition de fumée de silice augmenterait la résistance, alors que l'addition de cendres volantes entraîne une certaine réduction de la résistance (25). De plus, une augmentation de la proportion de sable augmenterait la résistance à la compression (28).

### **3.3. Les proportions du mélange**

Les principales variables dans les proportions de mélange sont la teneur en fibres et la composition de la matrice. La fraction de volume de fibre est généralement contrôlée par la technique de placement et la géométrie des fibres. La recommandation pour le rapport E/C pour le coulis est de 0,4 ou moins. Le superplastifiant (SP) peut être utilisé, si nécessaire, pour améliorer la fluidité du coulis (16, 15, 18).

En ce qui concerne les additions, environ 20 % de ciment pourrait être remplacé par de la cendre volante. Si c'est de la fumée de silice qui est utilisée, le dosage est de 10 % par rapport au poids du ciment. Le ciment peut être de type I ou type III (ASTM) (17).

Le tableau I.3.1 montre certaines conceptions du mélange tirées de 11 études différentes portant sur le SIFCON (18, 22, 23-24).

**Tableau I.3.1 : Modèles de mélanges de SIFCON tirés de la littérature**  
(Par rapport au poids du ciment)

Référence N°	Composition de SIFCON				
	Ciment <sup>(1)</sup>	Sable fin	Eau	cendres volantes ou fumée de <sup>(2)</sup> silice	SP
5	1	0.2	0.355	0.2	0.02
	1	0.3	0.255	0.2	0.04
6	1	-	0.3	0.1	0.048
11	1	2	0.6	-	non reporté
12	1	-	0.36	-	0.03
	1	-	0.5	-	-
13	1	1	0.4	-	Non reporté
	1	0.8	0.53	-	non reporté
	1	0.6	0.45	0.2	non reporté
	1	-	0.36	0.2	non reporté
14	1	1	0.4	-	0.013
	1	-	0.32	-	0.035
15	1	1	0.48	0.2	0.02
16	1	-	0.36	0.2	0.03
	1	-	0.325	0.25	0.04
17	1	1.5	0.4	0.2	0.01
	1	1	0.32	0.2	0.02
	1	0.5	0.24	0.2	0.03
18	1	1	0.45	-	0.032
19	1	0.9	0.5	0.3	0.024

<sup>(1)</sup> Dans toutes les références, le ciment Portland de type I a été utilisé, à l'exception des références 6 et 11 où il s'agit du Type III.

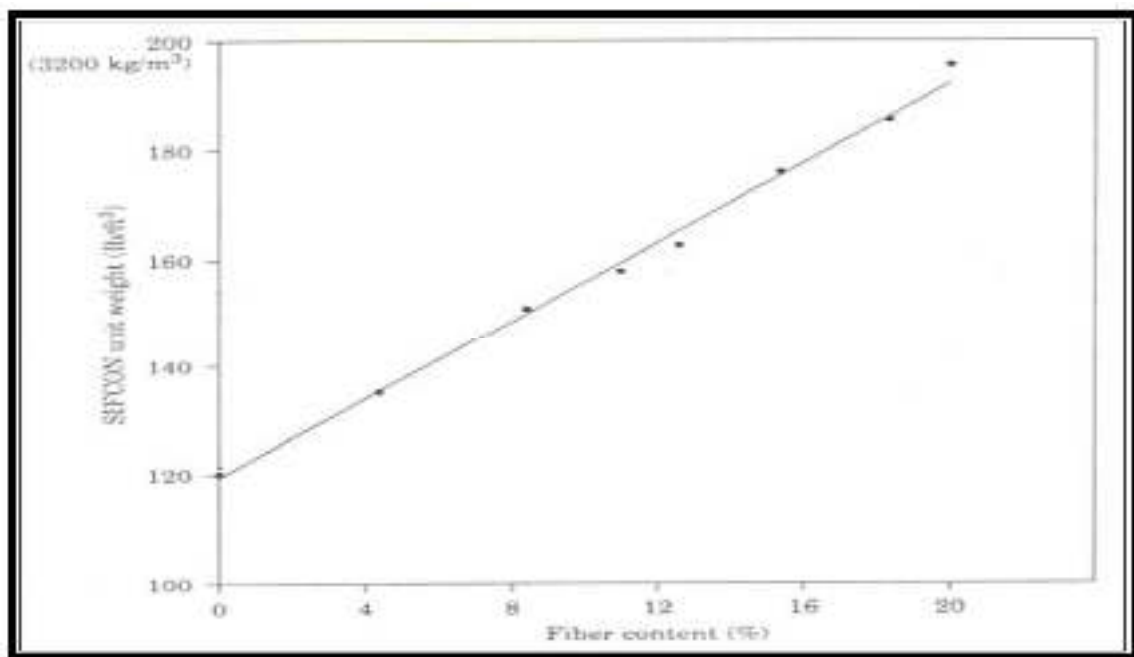
<sup>(2)</sup> Dans toutes les références, des cendres volantes ont été utilisées, à l'exception de la référence 6 où il s'agit de la fumée de silice.

Comme on peut le voir sur le tableau I.3.2, l'utilisation du mortier est plus fréquente que le coulis pour faire le SIFCON. La proportion de sable varie de 0,2 à 2, et il est égal à 1 dans la plupart des cas. L'ajout de cendres volantes est également noté pour améliorer les propriétés du mélange. Dans la majorité des mélanges, l'utilisation de superplastifiants est inévitable en raison du rapport E/C relativement faible, et de la nécessité de produire un mélange très fluide.

#### 4. PROPRIETES PHYSICO – MECANIQUES DU SIFCON

##### 4.1. Masse volumique

La masse volumique de SIFCON est généralement plus élevée que celle du béton et béton renforcé de fibres normal (BRC) en raison du poids élevé des fibres de leur teneur importante. La masse volumique moyenne du coulis est estimée à  $1920 \text{ kg/m}^3$ , l'ajout de 5 à 20% de fibres d'acier augmente la masse volumique de 2160 à  $3130 \text{ kg/m}^3$ , une augmentation presque linéairement proportionnelle à la teneur en fibres, comme le montre la figure I.3.5 (16).



**Figure I.3.5 :** Effet de la teneur en fibres d'acier sur la masse volumique de SIFCON

##### 4.2. Résistance à la compression

Le SIFCON est connu pour sa haute résistance à la compression. La valeur la plus élevée rapportée pour SIFCON est de 210 MPa (16).

Le composite est également très ductile par rapport à une matrice ordinaire. Le comportement à la compression du SIFCON a fait l'objet de mesures sur des éprouvettes cylindriques, et les variables étudiés incluaient (16, 18,25) :

- Effet d'orientation des fibres : parallèle et perpendiculaire à l'axe de chargement.
- Géométrie des fibres : extrémités à crochets, ondulée et déformée.
- Composition de la matrice : matrice de ciment ordinaire, matrice contenant du sable ou de la cendre volante, de la fumée de silice ou de leurs combinaisons.

Ce qui suit est un résumé des résultats de diverse recherche.

#### 4.2.1. Résistance à la compression

La résistance du SIFCON dépend de la conception du mélange, de la résistance de la matrice, de l'orientation, la fraction de volume et la géométrie des fibres. Le tableau I.3.2 présente les intervalles des résistances à la compression obtenue sur des SIFCON (18).

La résistance de SIFCON peut être 2 fois plus supérieure que celle d'une matrice ordinaire. Une augmentation de la résistance de la matrice entraîne une augmentation de celle du SIFCON. Les géométries des fibres ont montré moins d'influence que la résistance du béton.

**Tableau I.3.2 : Conceptions et valeurs de force signalées**

Mélange N°	Les constituants des mélanges	Dosage des matériaux	E/C <sup>(1)</sup> (%)	Les intervalles des résistances (MPa)
1	Ciment type I	1	0.30	52 à 117
	cendres volantes	0.2		
	Eau	0.36		
	SP	0.03		
2	Ciment type I	1	0.35	41 à 93
	cendres volantes	0.20		
	Fumé de silice <sup>(2)</sup>	0.20		
	Eau	0.355		

	SP	0.02		
3	Ciment type I	1	0.30	41 à 86
	cendres volantes	0.20		
	Fumé de silice <sup>(2)</sup>	0.30		
	Eau	0.255		
	SP	0.04		
4	Ciment type I	1	0.26	69 à 121
	cendres volantes	0.25		
	Eau	0.325		
	SP	0.04		

<sup>(1)</sup> E/C est le rapport eau/ (ciment+ cendres de volantes+fumée de silice).

<sup>(2)</sup> Un coulis d'environ 50 % d'eau et 50 % de particules siliceuses en masse.

## 5. DURABILITE DE SIFCON

Très peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur les aspects de durabilité du SIFCON. Les seules informations disponibles étaient uniquement sur le retrait dû au séchage et la résistance au gel dégel.

Les travaux de recherche entrepris dans le domaine de la durabilité des composites de béton renforcé de fibres de haute performance (BRFHP) sont assez limités, et ne couvre que peu de types de bétons : béton renforcé de fibres normales (BRF) avec fumée de silice mélangée au ciment et béton de poudre réactive (BRP) (26).

Aussi, très peu sont les recherches portent sur certains aspects de la durabilité du SIFCON (15, 16, 17).

Cependant, la dégradation des structures en béton est engendrée beaucoup plus par des problèmes de durabilité des éléments en béton que de leur résistance.

Par conséquent, la durabilité, de BRFHP en général et SIFCON en particulier, semble être un domaine sous-estimé de la recherche.

Une étude réalisée sur le SIFCON par Gilani en 2007 traite des aspects de variation de durabilité de ce type de béton.

Il a étudié trois types de compositions en faisant varier le type de fibres (à crochet et ondulées) et leurs dosages (7, 9.5 et 12%). Les proportions en kg/m<sup>3</sup> des trois mélanges en masse sont

données dans le tableau I.3.3. Les trois mélanges représentent les deux types communs de matrices utilisées pour SIFCON, le coulis ou pâte (M1) et le mortier (M2), en plus d'un mélange de contrôle de béton ordinaire (M3).

**Tableau I.3.3:** Proportions de mélange en kg/m<sup>3</sup>

Les mélanges	Ciment	Eau	Sable	Graviers	SP
M1	1356.3	452.5	-	-	-
M2	885.1	34.1	885.1	-	10.6
M3	475.0	190.0	725.0	960.0	7.1

Il a été constaté que la valeur limite minimale du taux de fibres qui remplit les moules sans l'utilisation de vibrations est d'environ 7 %. En revanche, la fraction de volume de 12 % a été comme limite pratique maximale, même avec des vibrations intenses. Le dosage de 9,5 % a été pris comme valeur intermédiaire à introduire au SIFCON avec une vibration légère pendant le placement des fibres dans les moules.

Les résultats obtenus indiquent que SIFCON, surtout lorsqu'il est préparé à mortier, a montré de bonnes caractéristiques de durabilité en dépit de son absorption d'eau élevée apparente.

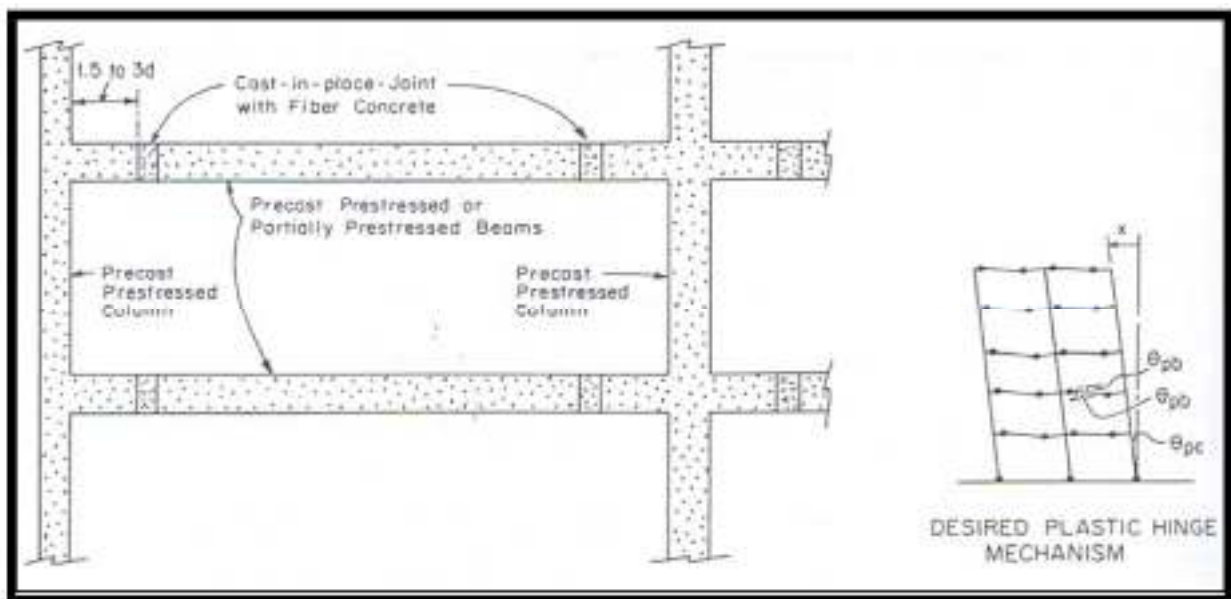
## 6. APPLICATIONS DU SIFCON

Bien que le SIFCON soit encore un matériau relativement nouveau, le composite a été utilisé avec succès dans un certain nombre de domaines, en particulier pour les applications où des hautes ductilités sont nécessaires. Il s'agit notamment d'une grande variété de structures résistantes aux tremblements de terre, installations militaires, structures imperméables et résistantes aux explosions. En plus de nombreuses autres utilisations dans l'aéroport, trottoirs, parkings et ponts. Voici quelques-unes des applications réussies de SIFCON rapportées dans la littérature. La plupart d'entre eux ont été appliquées aux États-Unis depuis le début des années 1980.

## 7. STRUCTURES RESISTANTES AUX TREMBLEMENTS DE TERRE

L'utilisation de SIFCON dans les régions articulées des structures résistantes aux tremblements de terre a été examinée (24). La recherche a montré que l'utilisation du SIFCON préfabriqué articulé en flexion pour augmenter la résistance sismique poutres en béton armé. Il a été trouvé que les articulées en SIFCON renforcées peuvent présenter des performances supérieures par rapport aux articulées en béton armé. De nombreux problèmes rencontrés avec les articulées en béton armé ne se produisent pas lors de l'utilisation des articulées SIFCON avec une plus grande résistance au cisaillement et un robuste seuil fissures de flexion dans le SIFCON renforcé.

Une autre étude a également prouvé que l'utilisation de SIFCON dans les connexions systèmes de cadrage permet une ténacité et une ductilité beaucoup plus que celles du béton à fibres conventionnelles (23). La figure I.3.1 illustre l'application désassemblages SIFCON dans des cadres résistants aux séismes.



**Figure I.3.6:** Représentation schématique des joints SIFCON dans le système structural

## 8. REPARATION ET MODERNISATION DE COMPOSANTS STRUCTURELS

Le SIFCON sert d'excellent matériau de réparation car il est compatible avec le béton armé en termes de rigidité et de changements dimensionnels causés par la température. Il peut être placé dans des endroits difficiles à atteindre et fournit de bonnes liaisons au béton parent en raison de la présence de fibres. La matrice peut être modifiée en fonction de la réparation en question. Par exemple, un gain de force rapide peut être obtenu à l'aide d'accélérateurs (26).

Le SIFCON a été utilisé pour réparer les poutres en béton précontraint couvrant une route au Nouveau-Mexique, États-Unis. Les poutres avaient été endommagées par le passage de véhicules sous le pont. Certains des tendons précontraints ont été dégradés. Les poutres ont été restaurées, en utilisant le SIFCON, sans les enlever.

La restauration sur place peut non seulement entraîner une grande économie de coûts, mais également réduire le temps de réparation de quelques mois. Les résultats ont été satisfaisants jusqu'à 8 ans après la réparation (16).

## **9. STRUCTURES RESISTANTES AUX EXPLOSIONS**

En raison de sa forte résistance à la flexion et à la compression, combinée à une forte ductilité, le SIFCON est envisagé pour une utilisation dans des structures pour résister à l'effet de charge explosive (16, 27).

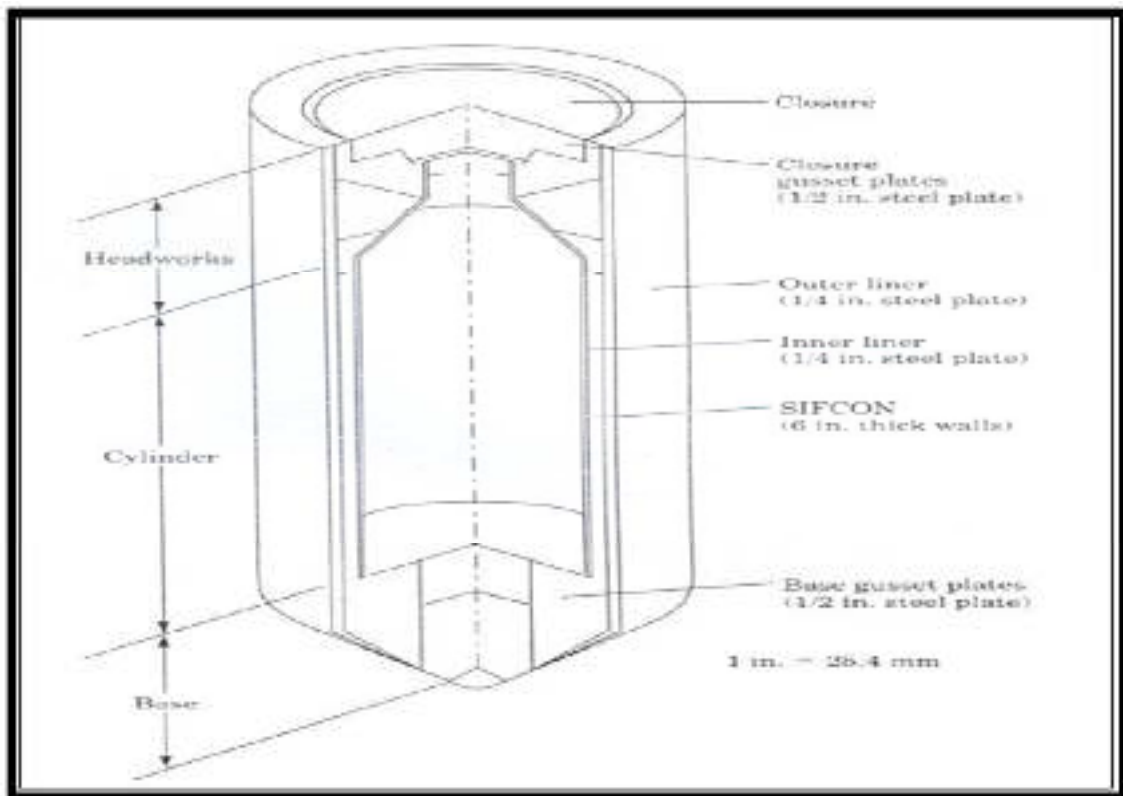
Par exemple, il a été utilisé pour faire des conteneurs pour stocker divers types de munitions. La principale préoccupation de cette application est de limiter la propagation des explosions d'un conteneur vers un autre. Le SIFCON a été utilisé pour les structures de silo de missiles (27).

Un modèle des structures de silo à missiles a été construit par le nouvel Institut de recherche du Mexique, figure I.3.2 Le silo était de 6 m de hauteur, avec 15 cm de parois SIFCON entre deux plaques d'acier de 6 mm d'épaisseur.

Premièrement, les sections intérieures et extérieures de la doublure en acier ont été entièrement érigées en 1,5 m de longues sections. Ensuite, les fibres d'acier ont été placées entre les doublures et puis le coulis a été infiltré à l'aide de vibrations externes dans 1,5 m en remontée et descente pour obtenir un composite correctement compacté.

Après la construction, la structure de silo entièrement instrumenté a été soumise à la charge explosive. La performance de la structure SIFCON dans ce test a été jugée excellente et a même dépassé les attentes (27).

SIFCON a également démontré une excellente résistance à la pénétration des projectiles.



**Figure I.3.7:**schéma de principe d'une structure de silo durci contenant SIFCON

## 10. AUTRE APPLICATION

Cette application est liée à la sécurité, comme les portes de coffre et les coffres forts, le produit doit être d'excellente résistance contre le dynamitage, le torchage, le perçage et l'écaillage. Le béton armé et l'acier ont tous les deux certaines faiblesses. Par exemple, l'acier et les parois peuvent être incendiés ou percés.

L'utilisation de SIFCON dans cette application a démontré ses avantages par rapport au béton et l'acier. Les parois SIFCON ne peuvent pas être incendié car le béton résiste à la détérioration par la chaleur et ralentit également la conduction de la chaleur. Le composite a résisté à la charge de l'explosion en raison de sa ductilité élevée. Le forage est très difficile en raison des intrusions de fibres. Par conséquent, SIFCONN est utilisé avec succès pour différents types de porte coffre-fort.

## 11. CONCLUSION

On conclut dans ce chapitre les différents constituants de SIFCON, les mécanismes d'action et sa caractérisation physico-mécanique (la masse volumique et la résistance à la compression).

Ce nouveau type de béton est réalisé dans les grandes structures pour résister à l'effet de chargement explosif grâce à sa haute teneur en fibres.

Pour les effets de la teneur en fibres, il a été constaté que leur augmentation améliore la durabilité du SIFCON.

D'autre part, il n'y avait pas de relations entre la forme de la fibre et les aspects de durabilité étudiés ; les fibres à crochet ont montré de meilleurs résultats.

De plus, une autre étude a également prouvé que l'utilisation de SIFCON dans les connexions systèmes de cadrage permet une ténacité et une ductilité beaucoup plus que celles du béton à fibres conventionnelles.

# Problématique et objectifs de la recherche

### **PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE**

Le béton reste un matériau moderne. En effet, il a de nombreuses qualités, parmi les quelle son peut citer son faible coût, sa facilité de moulage ou de projection pour se prêter à diverses conceptions, son excellente résistance en compression, sa grande rigidité, sa faible conductivité thermique, sa bonne tenue au feu et sa durabilité.

Toute fois, sa faible résistance en traction et sa fragilité font que le béton doit être renforcé. Ainsi, on utilise des armatures et des câbles ou des fils de précontraintes. Ces solutions traditionnelles ont fait leurs preuves et elles resteront utilisées encore très long temps. Malgré cela, il existe une autre solution qui consiste à noyer dans le béton, des éléments résistant à la traction : *des fibres* qui sont naturel les ou synthétiques. Cela conduit à un matériau composite. Si, en général, les fibres sont noyées au hasard dans le béton, il arrive que, par des mises en œuvre adaptées, on puisse donner aux fibres une orientation préférentielle correspondant à la direction des contraintes pour améliorer la résistance à la traction ou à la flexion d'une pièce. Les différentes recherches effectuées jusqu'à présent, et les premières applications font espérer que le béton de fibres permettra la fabrication d'éléments plus minces et résistants mieux à la fissuration.

C'est pourquoi, un nouveau type de béton que nous avons élaboré a vu le jour ; il s'agit du SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete ou Béton à Infiltration de Coulis).

Ce béton est un type spécial relativement renforcé de fibres (acier) à haute performance (BRFHP). Il est confectionné en plaçant des fibres dans les moules à sa pleine capacité ou à la fraction de volume souhaitée, formant ainsi un réseau. Le réseau de fibres est ensuite infiltré par un coulis liquide à base de ciment ou de mortier

#### **Le béton à infiltration de coulis - Comment ?**

Pour qu'il y ait réellement béton à infiltration de coulis, mélange ciment, eau, adjuvant et fibres il faut répondre à un certain nombre d'exigences.

- Béton de qualité répondant aux exigences habituelles de béton classique ; la jonction de fibres ne permet pas, à priori d'améliorer les performances du béton.
- liaison étroite entre les fibres et le béton pour assurer l'ancrage.
- Bonne répartition des fibres dans le béton.

### **Le béton à infiltration de coulis qu'apporte-t-il ?**

Le béton non armé est un matériau fragile, sous des efforts excessifs de traction ou de traction par flexion la rupture se produit brutalement par élargissement rapide d'une fissure, sans avertissement puisque la déformation reste très faible (de l'ordre 1/1000).

- Si dans ce béton existe un réseau de fibres, il va s'opposer, et ce d'autant qu'il est plus dense, à l'élargissement de la fissure. là où les premières fibres rencontrées effectuant une couture de la fissure jusqu'à en bloquer l'évolution.
- Si les efforts excessifs persistent d'autres fissures vont se former qui seront à leur tour cousues par d'autres fibres.

Ainsi l'évolution incontrôlée de fissures est empêchée font que le béton à infiltration de coulis présente une certaine ductilité (capacité à la déformation), ténacité (résistance à la fatigue), résilience (résistance aux chocs).

L'objectif de notre projet est de faire un béton appelé SIFCON à haute résistance à la traction et à la compression composé de fibres d'acier infiltrées à un dosage de 5% dans un coulis à base de ciment et de superplastifiant.

# Partie II:

## Matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

# Chapitre 1 :

# Matériaux Utilisés

## CHAPITRE1 : MATERIAUX UTILISES

### 1. INTRODUCTION

Le travail que nous présentons met en évidence l'utilisation des fibres dans le coulis pour élaborer un nouveau type de béton (SIFCON).

Ce chapitre décrit les matériaux qui ont été utilisés durant cette recherche. Les modes opératoires et les méthodes d'essais de caractérisation des constituants décrits dans ce chapitre s'appuient sur des textes normatifs.

Les différentes manipulations utilisées pour la caractérisation de ciments sont effectuées au niveau des laboratoires de l'université de Mostaganem, LTPO d'Oran et laboratoire central des matériaux (COSIDER).

### 2. LE CIMENT

Un seul type de ciment a été utilisé dans la composition des coulis, c'est un ciment Portland au calcaire CPJ/NA442 CEM II/B-L 42,5 N provenant de la cimenterie de LAFARGE sous le nom commercial « Matine ». Il contient de 65 à 79 % de clinker. Le reste est composé de constituants secondaires tel que le gypse comme régulateur de prise.

Matine est un ciment pour bétons à haute-performance destiné à la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments et préfabrication légère.

La finesse de mouture d'un ciment est caractérisée par sa surface spécifique ou surface développée des grains contenus dans une masse donnée. La surface spécifique Blaine du ciment a été déterminée par la méthode du perméabilimètre de Blaine selon la norme NF EN 196-6 et exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

La composition chimique du ciment est donnée par le tableau II.1 1.

**Tableau II.1.1** : Composition chimique du ciment utilisé

Analyse chimique	Valeurs
Perte au feu (%) (NA5042)	5,03
SO <sub>3</sub> (%)	2,20
MgO (%)	1,80
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0,02 - 0,05
SiO <sub>2</sub>	19,34
CaO	61,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,37
K <sub>2</sub> O	0,76
Na <sub>2</sub> O	0,14
CaO libre	0,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
Résidus insolubles	1,12

Sa composition minéralogique illustrée dans le tableau II.1.2 est obtenue grâce aux formules de Bogue appliquées au clinker ordinaire.

**Tableau II.1.2** : Composition minéralogique du clinker

Composants du clinker (Bogue)	Valeurs(%)
C <sub>3</sub> S (%)	58,3
C <sub>3</sub> A (%)	8,7
C <sub>2</sub> S	14,6
C <sub>4</sub> AF	11,26

La masse volumique apparente est obtenue par la pesée d'un récipient d'un litre rempli de ciment sans aucun tassement.

La masse volumique absolue du ciment a été déterminée par le pycnomètre et le benzène.

La consistance normalisée de la pâte de ciment est déterminée selon la norme NF EN 196-3 à l'aide de l'appareil de Vicat muni d'une sonde.

Ces caractéristiques physiques sont groupées dans le tableau II.1.3.

**Tableau II.1.3** : Caractéristiques physiques du CPJ CEM II 42,5

L'état du ciment	Caractéristiques	Valeurs
<b>Ciment anhydre</b>	Masse volumique apparente (g/ cm <sup>3</sup> )	1,7
	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	3
	Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4425
<b>Pâte de ciment</b>	Teneur en eau de la pâte (ml)	138

Ce ciment présente une résistance moyenne en compression à 28 jours de 42,5 MPa, Ces caractéristiques mécaniques sont groupées dans le tableau II.1.4.

**Tableau III.1.4** : résistance à la compression de ciment CEM II

<b>Résistance à la compression de ciment CEM II</b>	
<b>Les jours</b>	<b>résistance à la Compression (MPa)</b>
2	15.31
7	37.81
28	49.06

### 3. L'ADJUVANT

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau de dernière génération **CHRYSO**® **FLUID Optima 208 A**. Il fait appel à nos avancées les plus récentes dans la synthèse des molécules afin d'apporter:

- Une large plage de dosage,
- Un fort potentiel de réduction d'eau,

- Du maintien d'ouvrabilité,
- Une cohésion du béton.

Cet adjuvant est particulièrement recommandé pour le béton prêt à l'emploi, et peut également être utilisé en combinaison avec d'autres produits de la gamme CHRYSO®.

**a. Informations indicatives:**

- Nature : liquide.
- Couleur : brun.
- Densité (20° C) :  $1,070 \pm 0,020$
- PH :  $5,20 \pm 2,00$
- Extrait sec (halogène) :  $25,10\% \pm 1,50\%$
- Extrait sec (EN 480-8) :  $25,10\% \pm 1,50\%$
- Durée de vie : 18 mois.

**b. Informations normatives et réglementaires:**

Ce produit satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 "ADJUVANTS DU BETON".

**c. Domaines d'application:**

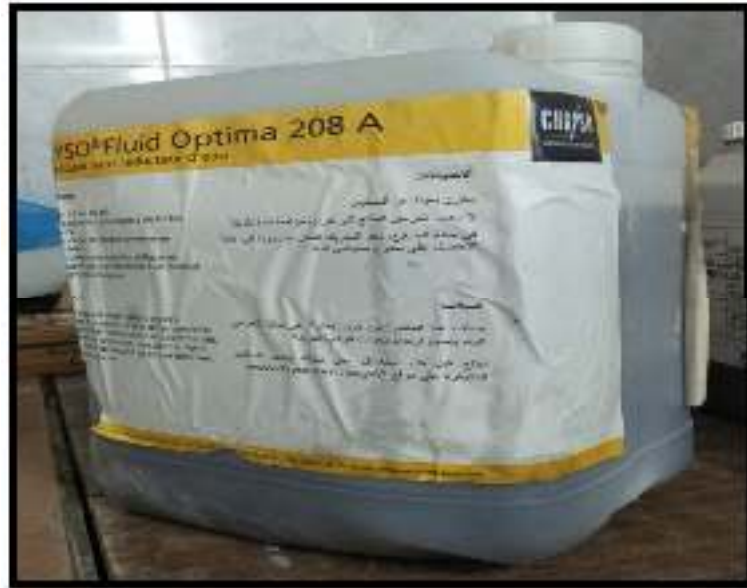
- Tous types de ciments, sauf ciments blancs.
- BHP et BTHP.
- Bétons plastiques, très plastiques, fluides.
- Bétons pour ouvrages très ferrailés.
- Bétons précontraints.
- Dallage, sols industriels.
- Coulis d'injection.

**d. Mode d'emploi:**

Plage de dosage : 0,3 à 3,0 kg pour 100 kg de ciment. Il est courant de doser ce produit à 1% du poids du ciment.

Ce produit doit être incorporé de préférence dans l'eau de gâchage ou en fin de malaxage.

L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitée pour le béton.



**Figure II.1.1** : L'adjuvant utilisé

#### 4. EAU

Dans notre recherche nous avons utilisé l'eau potable du robinet conforme au gâchage. Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte.

#### 5. LES FIBRES

Les fibres choisies « **Dramix®45/50BL (Acier nu Libre)** » (**Figure 2**) sont certifiées pour une utilisation structurelle conformément à la norme EN\_14889-1.

La gamme Dramix® 3D est la référence dans le renforcement en fibres d'acier. En combinant des performances élevées, une durabilité et une facilité d'utilisation, la gamme 3D offre une alternative plus rapide et rentable face aux solutions traditionnelles de renforcement du béton :

- Ancrage original
- Résistance à la traction standard

**Dramix® 3D est une solution économique pour :**

- Les sols industriels.

- Les applications relatives aux tunnels.
- La préfabrication.
- Les applications relatives aux bâtiments.
- Résidentiels.

**a. Propriétés du matériau :**

- Résistance à la traction :
- $\sigma_t$ : 1.115 N/mm<sup>2</sup>
- Tolérances :  $\pm 7,5\%$  moyenne
- Module de Young :  $\pm 210.000$  N/mm<sup>2</sup>

**b. Géométrie :**

- Famille de fibre 3D
- Longueur (l) 50 mm
- Diamètre (d) 1,05 mm
- Elancement (l/d) 45

**c. Réseau de fibre :**

- 2,9 km par m<sup>3</sup> (pour 20 kg/m<sup>3</sup>)
- 2.802 \_ fibres/kg

**d. Dosage minimum :**

- 20 kg par m<sup>3</sup> (conformément au label CE)



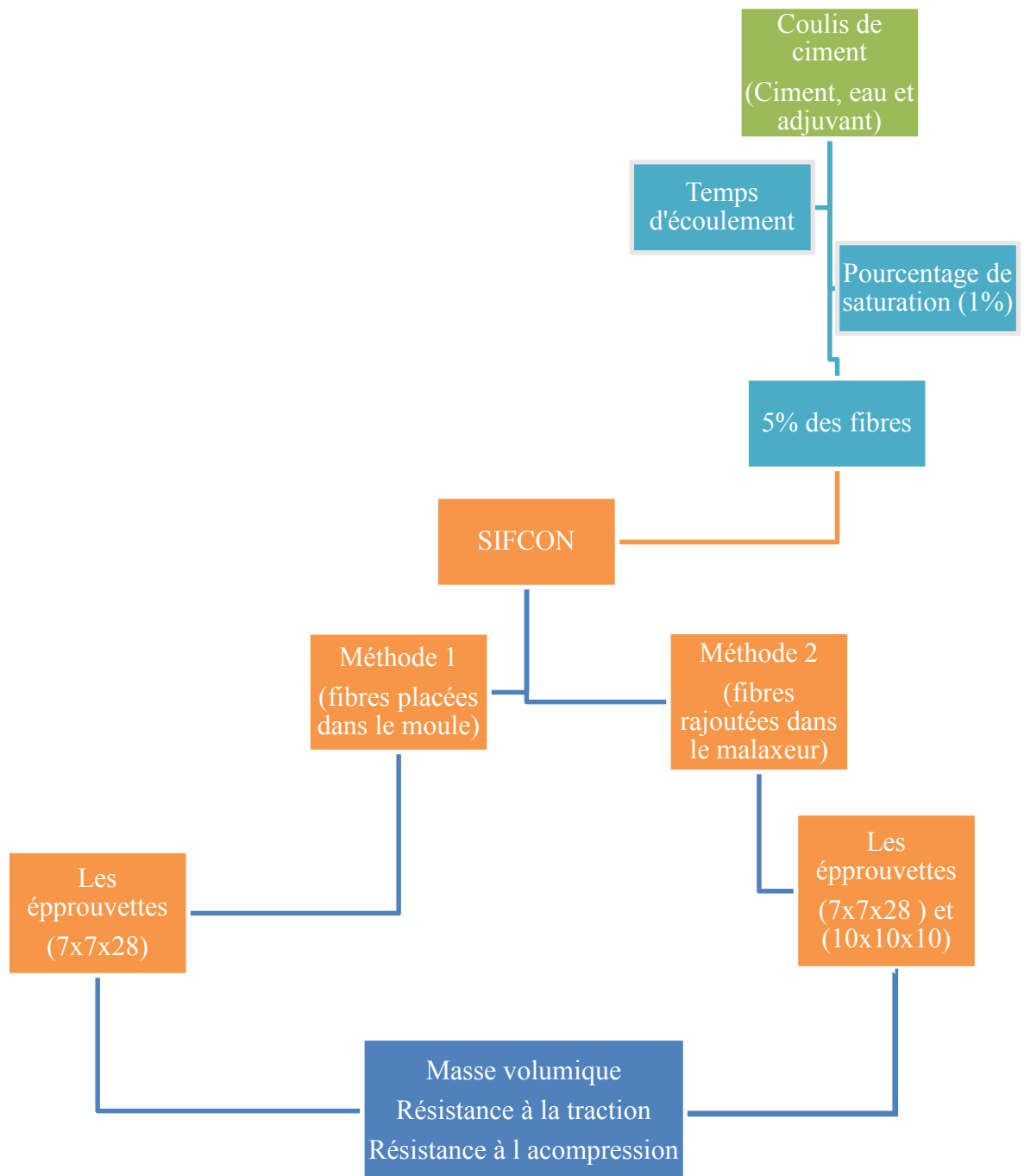
**Figure II.1.2 : Type de fibres utilisées**

## 6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons identifié tous les matériaux entrant dans la composition de notre béton ce qui constitue une étape indispensable avant d'entamer l'étude expérimentale de ce béton. Dans le chapitre qui suit les techniques expérimentales menées lors de cette étude sont décrites.

# Chapitre 2:

## Méthodes Expérimentales



## CHAPITRE 2 : METHODES EXPERIMENTALES

### 1. INTRODUCTION

La connaissance de diverses propriétés : physiques, chimique, minéralogiques et mécaniques des matériaux, est une exigence primordiale dans toute opération de construction ou de répartition, dont le but est de faire un choix judicieux de ces matériaux répondant à leur destination, aussi pour que ces matériaux soient malaxés d'une façon correcte afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Dans ce chapitre, nous présentons les normes, les procédures de malaxage pour confectionner nos mélanges, coulis et béton ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l'état frais et à l'état durci.

Les essais ont été effectués au niveau du :

Laboratoire pédagogique de matériaux du département de génie civil et d'architecture de l'université de Mostaganem.

Laboratoire de recherche Matériaux et Procédés de Construction (LMPC) du département de génie civil et d'architecture de l'université de Mostaganem.

Laboratoire de GICA (Granu-Ouest-Mostaganem).

LTPO d'Oran (laboratoire des travaux publics de l'ouest).

Laboratoire central des matériaux (cosider).

### 2. CARACTERISATION DES MATERIAUX

#### 2.1. Essais sur le ciment anhydre

##### 2.1.1. *Masse volumique absolue*

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 3,0 et 3,2 g/cm<sup>3</sup>.

Principe de l'essai :

On opère en comparant la masse ( $m_c$ ) d'un volume connu de ciment ( $v_c$ ) à la masse ( $m_t$ ) d'un même volume d'un liquide (benzène) dont la masse volumique ( $\rho_t$ ) est connue. La masse volumique du ciment ( $\rho_c$ ) s'en déduit en écrivant :

$$\rho_c = \rho_t \frac{m_c}{m_t}$$

Équipement nécessaire :

- Un pycnomètre d'une contenance minimale de 50 cm<sup>3</sup>.
- Un liquide qui ne doit pas être réactif avec le ciment, (le benzène).
- Une balance.

Conduite de l'essai :

- Déterminer la masse  $M_1$  du pycnomètre rempli de benzène jusqu'au niveau du trait repère  $V = 250$  ml.  $M_1 = 328,6$  g.
- Déterminer la masse  $M_2$  de ciment.  $M_2 = 50$  g.
- Introduire la quantité de ciment pesé dans le pycnomètre, remplir de benzène et amener le niveau de benzène au niveau du trait repère. Vérifier que le pycnomètre ne contient aucune bulle d'air. Peser alors le pycnomètre, soit  $M_3 = 363,6$  g

La masse volumique absolue du ciment est :

$$\rho_c = \frac{M_2}{M_1 + M_2 - M_3} \times \rho_l$$



Figure II.2.1 : Procédure de mesure de la masse volumique absolue du ciment

### 2.1.2. Masse volumique apparente

Il s'agit de déterminer la masse volumique apparente de ciment selon la norme [NF P 18-554].

Équipement nécessaire :

- Entonnoir sur trépied.
- Tamis de 2 mm.
- Une mesure d'un litre.
- Une règle à araser.
- Balance de précision : force de 4 à 5 Kg sensibilité 1 à 2 cg.

Conduite de l'essai :

- Placer l'entonnoir au-dessus d'un récipient de volume V (de préférence 1 litre). Fermer l'opercule.
- Verser une petite quantité (200 g environ) de liant sur la passoire et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule, ouvrir l'opercule : le ciment descend dans la mesure et refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelles quantités (200g) jusqu'à ce que se produise le débordement tout autour puis araser à la règle et peser le contenu.

La masse volumique apparente du liant est :  $\rho = \frac{M}{V}$  (g / cm<sup>3</sup>).

Les différentes étapes de l'essai sont présentées par la **figure II.2.2**



**Figure II.2.2** : Procédure de mesure de la masse volumique apparente du ciment

### 2.1.3. Mesure de la finesse

Objectif de l'essai :

Déterminer la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. Elle est exprimée en cm<sup>2</sup>/g, conformément à la norme [EN-196-6].

Principe de l'essai :

Il s'agit de faire passer un volume d'air connu au travers d'une poudre de ciment. Plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps t mis par l'air pour traverser la poudre est long. La surface massique est proportionnelle à  $t^{1/2}$ . La masse volumique du ciment étant connue.

Equipement nécessaire utilisé :

- Une salle maintenue à 20°C ± 2°C et à une humidité relative de 65%;

- Un appareil appelé « perméabilimètre de Blaine » (figure II.2.3) dont la description complète est donné par la norme [EN 196-6];
- Une balance précise à 0.001g près ;
- Un chronomètre précis à 0.2 s près ;
- Des rondelles de papier filtrent adaptées au diamètre de la cellule
- Un thermomètre précis à 0.1 °C.



**Figure II.2.3** : L'appareil de Blaine

## 2.2. Essai sur les fibres

### 2.2.1. *Mesure de la masse volumique*

Il s'agit de mesurer la masse volumique des fibres par la méthode de l'éprouvette graduée ; cette méthode est très rapide et elle utilise du matériel très courant de laboratoire.

Principe de l'essai :

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée (Figure...) en verre. La lecture des niveaux  $V_1$  et  $V_2$  doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

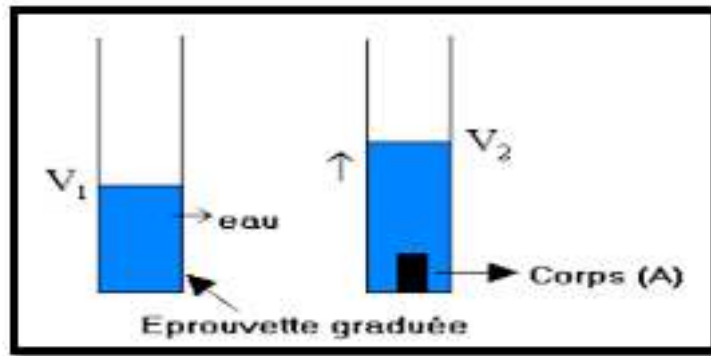


Figure II.2.4 : Méthode de l'éprouvette graduée

Équipement nécessaire :

- Eprouvette graduée d'une contenance minimale de 250 ml.
- Une balance.
- Un liquide d'une masse volumique connue par exemple l'eau.

Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1 = 140$  ml d'eau.
- Peser un échantillon des fibres  $M_F = 120$  g et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume  $V_2$ . La masse volumique est alors :

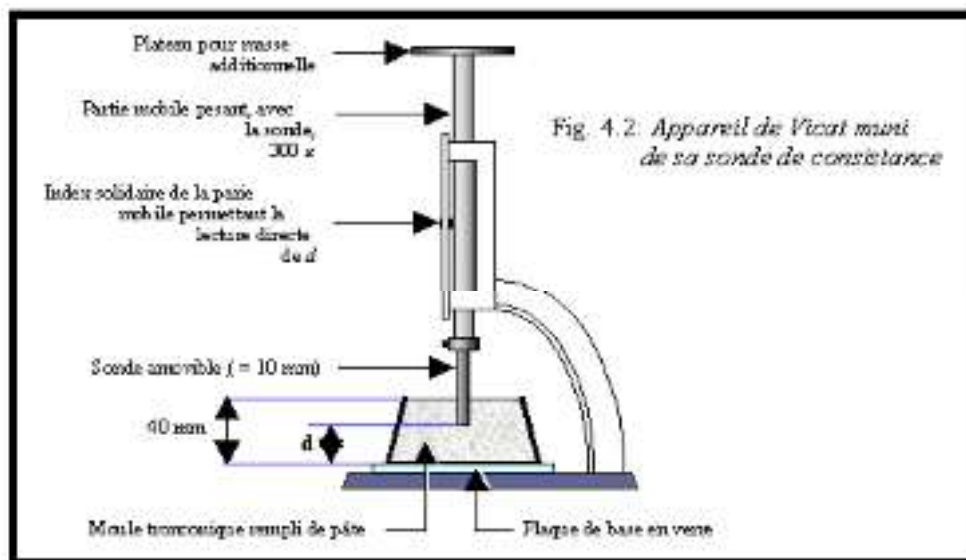
$$\rho_F = \frac{M_F}{V_2 - V_1}$$

**Figure II.2.5** : Mesure de la masse volumique des fibres

### 2.3. Essais sur pâtes normalisées

#### 2.3.1. Essai de consistance

La consistance de la pâte de ciment (pourcentage d'eau/pâte pure) caractérise sa fluidité. On a effectué l'essai avec l'appareil de Vicat (Figure II.2.6) conformément à la norme [EN-196-3]. On déduit un rapport E/C = 0,25.

**Figure II.2.6** : Appareil de VICAT muni de sa sonde de consistance

La consistance de la pâte de ciment 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. L'objectif de cet essai est de définir une telle consistance dite « consistance normalisée ».

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide. La consistance évaluée de cette manière sera appelée « consistance Vicat ».

Equipement nécessaire utilisé :

- Une salle maintenue à  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et à une humidité relative d'au moins 65%.
- Un malaxeur décrit dans la norme [EN 196-1] (figure II.2.10).
- Un appareil de Vicat muni (du nom de l'ingénieur français qui, au XIX<sup>e</sup> siècle, généralisa la découverte de smeaton concernant le mode d'obtention des liants hydraulique).
- L'appareil, schématisé sur la figure II.2.7, est, pour l'essentiel, composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde d'un diamètre  $\varphi = 10$  mm. La partie coulissante a une masse totale de 300 g (y compris la sonde amovible).
- Une balance permettant de peser à 1 g près.

Conduite de l'essai :

- Peser 500 g de ciment.
- Peser 125 g d'eau.
- Verser l'eau dans le récipient du malaxeur puis ajouter le ciment en un temps compris entre 5 et 10 s. La fin du versement du ciment donne le temps 0.
- Ajouter 500 g de ciment à l'eau, en un temps compris entre 5 et 10 s. La fin du versement du ciment donne le temps 0.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 s.
- Arrêter le mouvement, démonter le batteur et récipient, racler les parois du récipient puis remonter le tout en une durée d'environ 15 s.
- Remettre le malaxeur en marche pour une durée de 90 s à vitesse lente.
- Remplir le moule tronconique de la pâte fabriquée et araser la face supérieure.
- Placer le moule et son support sur le socle de l'appareil.
- Immobiliser la sonde au contact de la pâte.
- Régler l'index des graduations au point 0 et Libérer la partie mobile sans vitesse initiale.
- Noter l'indication de l'index sur la graduation après immobilisation de la partie mobile.
- Si l'épaisseur mesurée est supérieure à 7 mm ; il n'y a pas assez d'eau.

- Si l'épaisseur mesurée est inférieure à 5 mm ; il y a trop d'eau.
- La pâte sera de consistance normalisée si l'épaisseur  $d = 6 \text{ mm} \pm 1$ .

### 2.3.2. Essais de prise

Objectif de l'essai :

Déterminer les temps de début et de fin de prise des pâtes pures des ciments étudiés conformément à la norme [EN 196 3].

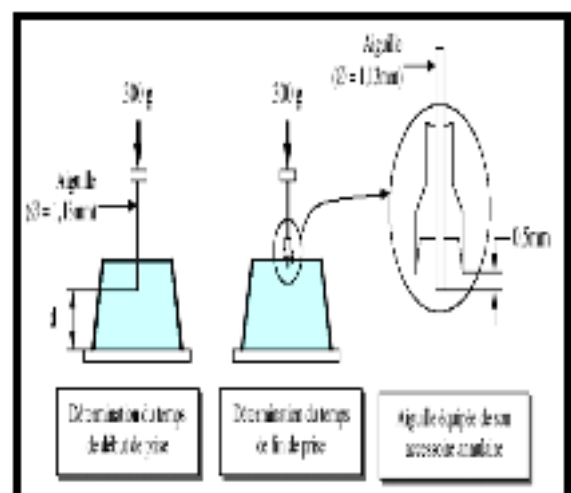
Principe de l'essai :

Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte de consistance normalisée avec échauffement.

L'appareil utilisé est l'appareil de Vicat équipée d'une aiguille de Vicat (Figure II.2.7). Quand la partie mobile est libérée l'aiguille s'arrête à une distance  $d$  du fond du moule telle que  $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide, le moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte que de 0,5 mm.

Equipement nécessaire utilisé :

- Une armoire maintenue d'une manière continue à une température de  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  et à une humidité relative supérieure ou égale à 90%;
- Appareil de Vicat est équipé de :
- d'une aiguille de 1,13 mm + porte aiguille.
- masse mobile de 1000g (partie mobile 300g + masse supplémentaire 700g).



**Figure II.2.7 : Appareil de Vicat muni d'aiguille**

Conduite de l'essai :

Le mode opératoire de l'essai est fixé par la norme [EN 196-3]:

- Confectionner une pâte normalisée .Le temps zéro est celui où le ciment a fini d'être ajouté à l'eau dans la cuve du malaxeur. La consistance recherchée de la pâte, une fois atteinte, la pâte est introduite dans le moule tronconique comme indiquée pour l'essai de consistance ;
- Remplir le moule tronconique, et araser la face supérieure ;
- Mettre le moule dans l'armoire en attendant, que la prise soit commencée ;
- Quand le moment supposé du début de prise approche, on fait sortir le moule de l'armoire et on le met sur le socle de l'appareil ;
- Immobiliser l'aiguille au contact de la pâte ;
- Libérer la partie mobile sans vitesse initiale ;
- Relever la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base ;
- Si l'arrêt se produit à une distance  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$  ; la prise est commencée ;
- Si non, on retourne le moule dans l'armoire qu'on le sortira qu'à intervalles de temps convenablement espacés jusqu'à ce que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$
- On retourne le moule tronconique utilisé pour la détermination du début de prise de façon que les essais de fin de prise soient faits sur la face du moule en contact avec la plaque de base.

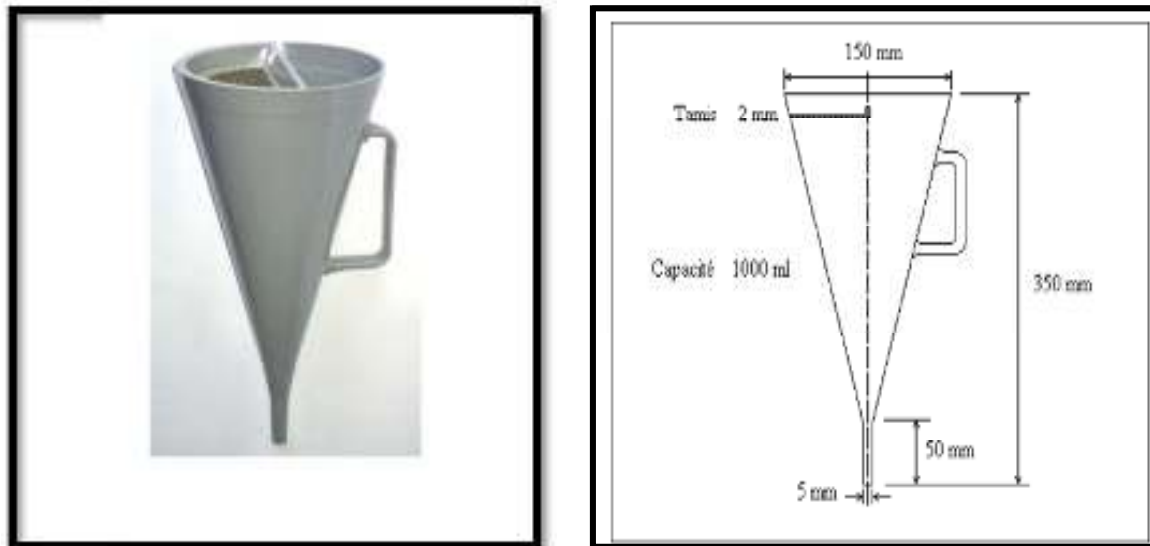
**3. METHODES DU COULIS (CONE DE MARSH) NF P 18-358**

Pour étudier le comportement rhéologique d'un ciment en présence de superplastifiant on utilise la méthode du coulis qui consiste à mesurer la perte de fluidité dans le temps d'un coulis de ciment.

**3.1.Objectif de l'essai**

Le principal intérêt de la consistance normalisée est de définir une consistance qui servira de référence dans l'essai de prise ou dans l'essai de stabilité. 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.

Le cône de Marsh (Figure II.2.8) est un outil très efficace pour caractériser globalement la fluidité et vérifier la constance des formulations en laboratoire et sur site. On a utilisé la méthode du coulis qui consiste à mesurer la fluidité dans le temps d'un coulis de ciment. L'essai consiste à mesurer le temps qu'il faut pour vider un cône contenant 1 litre de coulis à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre. Ce temps est de  $31.5 \pm 0.5$  secondes pour l'eau.



### 3.2.Principe de l'essai

Il s'agit de mesurer la rapidité d'écoulement du coulis sous l'effet de son propre poids à travers un ajutage. Plus l'écoulement sera rapide et plus le coulis sera réputé être fluide.

### 3.3.Conduite de l'essai

Le cône de Marsh doit être solidement fixé pour ne pas être déplacé par les vibrations et sa partie supérieure doit être horizontale. On commence par obturer l'orifice d'évacuation inférieure et on verse 1 litre de coulis dans le cône. On démarre le chronomètre au moment où on libère l'orifice. On arrête le chronomètre dès que le litre de coulis s'est déversé dans un cylindre gradué que l'on place sous l'orifice du cône. Le temps d'écoulement que l'on mesure permet d'évaluer la fluidité du coulis. Plus ce temps est long, plus le coulis est visqueux et plus il est court, plus le coulis est fluide. Dans le cas des coulis de ciment Portland, on mesure le temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes après le début du malaxage.



**Figure II.2.9 :** Ecoulement de coulis

### **3.4. Equipement nécessaire utilisé**

Dans cette recherche, on a utilisé un matériel simple disponible au niveau de notre laboratoire.

#### **3.4.1. Malaxeur**

Les propriétés rhéologiques varient énormément selon le mode de malaxage et le dosage des constituants employés. Avant tout travail, le mode de malaxage doit être désigné selon les moyens disponibles et la quantité de coulis à préparer. Parmi les appareils utilisés à l'université de Mostaganem pour le malaxage des coulis de ciment le malaxeur, représenté sur la (Figure II.2.10). Cet appareil normalisé [EN 196-1], sur lequel se basent pratiquement toutes les normes pour la préparation du coulis.



Figure II.2.10 : Malaxeur normalisé

### 3.4.2. Cône de Marsh

Le cône de Marsh (Figure II.2.11) est utilisé depuis longtemps par l'industrie pétrolière pour mesurer la fluidité des coulis de ciment ou de bentonite. Le cône de Marsh est muni d'un ajutage cylindrique démontable en partie inférieure du tronc conique. Le diamètre de l'ajutage peut être choisi en se basant sur les propriétés rhéologiques des coulis pour obtenir un temps d'écoulement significatif. En général, il est de l'ordre de 5 à 12 mm à partir duquel on peut mesurer le temps d'écoulement d'un litre de coulis.

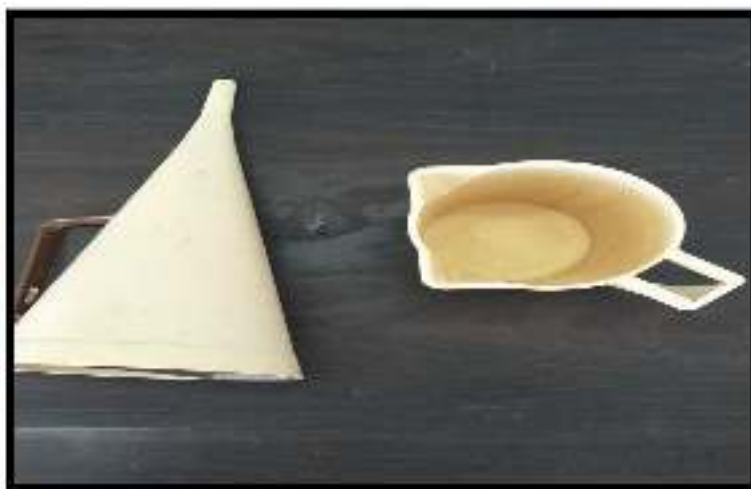


Figure II.2.11 : Cône de Marsh

### 3.4.3. Chronomètre

Un chronomètre (Figure II.2.12) de précision 1/100 de seconde a été utilisé pour mesurer le temps d'écoulement du coulis.



Figure II.2.12 : Chronomètre

### 3.5. Composition des coulis de ciment

Une série de coulis est préparée qui doit être composé en masse, d'une part de ciment (CPJ), et d'autre part d'eau. Ce mélange est confectionné pour un rapport E/C de 0.35 fixé. Et d'un adjuvant superplastifiant (CHRYSO<sup>®</sup> FLUID Optima 208 A).

Ce mélange contenant CPJ-SP présente des teneurs en superplastifiant SP variant de 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1,4 (%). du poids de ciment (Tableau II.2.1).

La fluidité des coulis est évaluée en fonction du type de ciment, le type de superplastifiant et son dosage ainsi que le rapport E/C.

Tableau II.2.1 : Composition des coulis

Ciment de LAFARGE (Matine) CPJ	Superplastifiant/ (%C)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
	E/C	0.35					

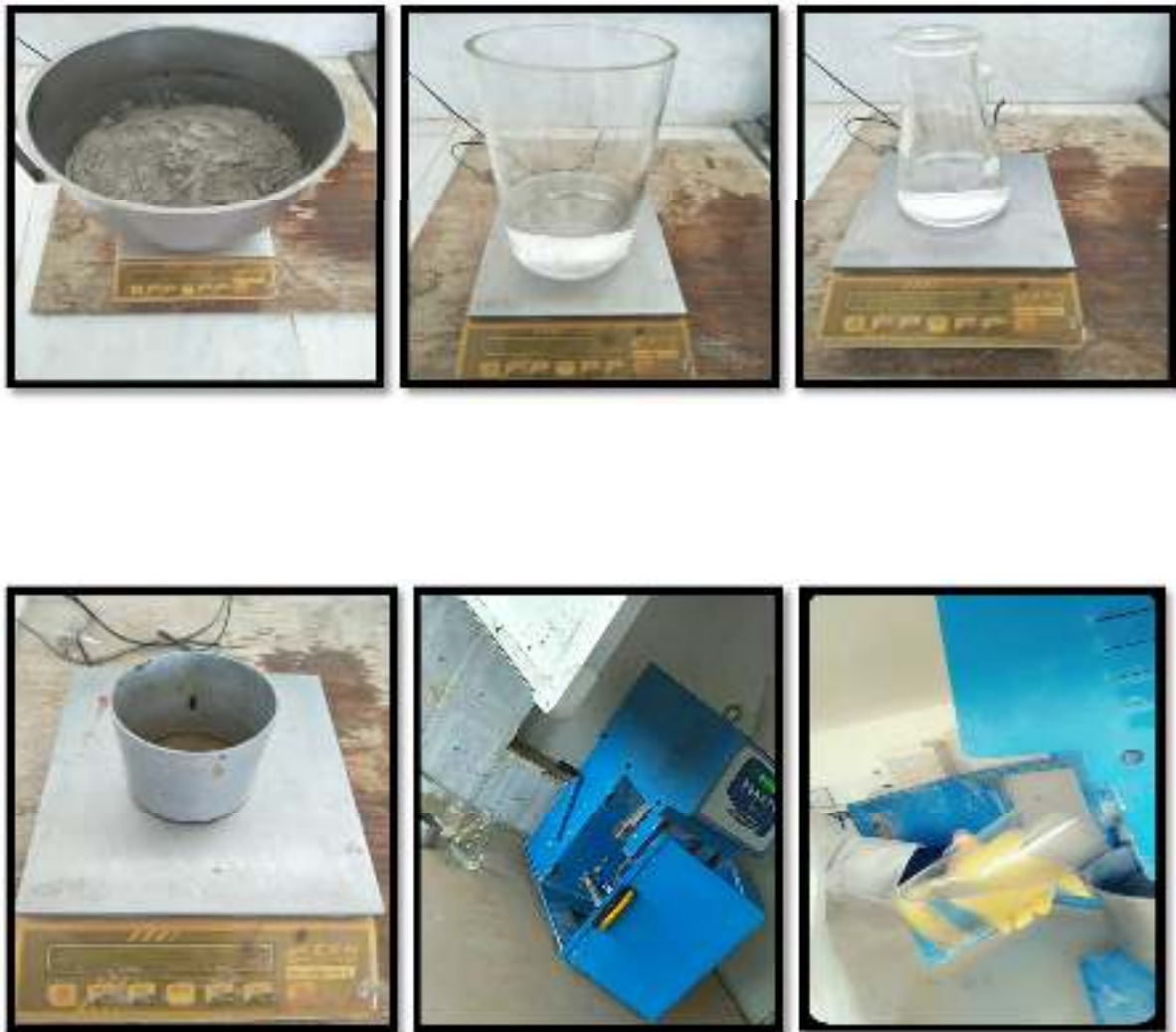
#### 3.5.1. Malaxage du coulis

Il faut malaxer chaque gâchée de coulis mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié. Le malaxeur étant en position de marche mais pas en fonctionnement :

- Mettre dans le bol du malaxeur 1700 g de ciment.
- Introduire la 2/3 (397) de l'eau de gâchage.
- Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche pendant 60 s à vitesse lente.

- Arrêter le malaxeur, et Introduire le 1/3 (198) de l'eau de gâchage plus le superplastifiant progressivement en malaxant pendant 60 s à vitesse lente.
- Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 60 s supplémentaires. (le malaxage dur 180 s).
- Préparer le coulis à l'essai d'écoulement au cône de March.

Les étapes de préparation du coulis et de mesure au cône de March sont illustrées par la figure (II.2.13), figure (II.2.14) et figure (II.2.15) :



**Figure II.2.13** : Préparation du coulis



**Figure II.2.14** : Remplissage du cône      **figure II.2.15** : Mesure le temps d'écoulement

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

Le principe est de mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de coulis à travers un ajutage. Plus le temps est court, plus le coulis est fluide. Cette mesure au cône de Marsh peut être aussi utilisée pour déterminer le dosage de saturation en superplastifiant qui est le dosage à partir duquel le temps d'écoulement ne diminue pas appréciablement. Après la préparation du coulis, sa fluidité au cône de Marsh est évaluée en suivant les étapes ci-dessous comme c'est illustré sur la Figure II.2.16.

- Fixer le cône de Marsh.
- Fermer l'ajutage ou (l'orifice) du cône de Marsh à l'aide du doigt.
- Prélever le coulis dans le bol et verser sur le tamis de cône jusqu'à ce que le niveau de coulis affleure 1 litre dans le cône.
- Déclencher le chronomètre au moment où l'on enlève le doigt qui bouche l'orifice et laisser couler dans la tasse graduée.
- Stopper le chronomètre lorsque le niveau de coulis atteint 1 litre.

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

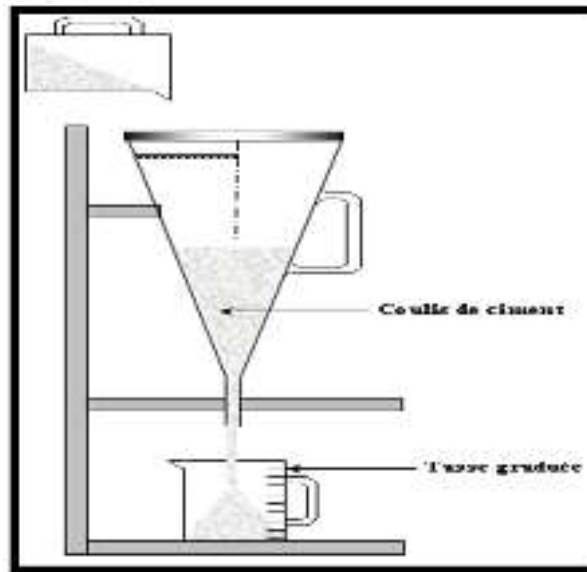


Figure II.2.16 : Mode opératoire pour la mesure de fluidité du coulis

## 4. METHODES DE PREPARATION DU BETON (SIFCON)

### 4.1. Matériaux et proportions de mélange

Les matériaux constituants primaires de SIFCON sont des fibres d'acier et coulis de ciment. Le coulis peut contenir:

- Le ciment.
- L'eau.
- Le superplastifiant avec un pourcentage égal à 1 %, pour améliorer la fluidité du coulis et assurer une meilleure infiltration des fibres sans augmenter le rapport eau-ciment (E/C).

Chaque mélange SIFCON a été préparé à l'aide d'un seul type des fibres et avec une fraction de volume de fibre égale à 5 %.

### 4.2. Confection du béton

Pour la confection des gâchées, nous avons utilisé beaucoup de matériels et fournitures courants (balances, récipients, truelles, spatules, huile de coffrage.....), mais également des appareils tels que le malaxeur, table de vibration.....)

Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées. Les fibres présentent une très bonne compatibilité avec les divers constituants du coulis y compris l'adjuvant. Les fibres ont généralement tendance à rigidifier la matrice cimentaire. Cette diminution de l'ouvrabilité doit être compensée par l'utilisation de superplastifiant. La maniabilité du béton dépend de la dimension des fibres et de leur dosage.

On a utilisé deux méthodes pour préparer ce nouveau type de béton (SIFCON) :

➤ **Méthode 1 :**

Le processus consiste à placer les fibres dans le moule ou dans un coffrage et à insérer le coulis de ciment par la suite. Il est nécessaire d'utiliser la vibration externe pour faire l'introduction du coulis de ciment.

Dans cette méthode le rapport  $E/C = 0,25$ .

Dans ce programme expérimental, un seul type de moule été utilisé; les éprouvettes prismatiques normalisées (NF P 18-400, NA2600) de dimensions 7x7x28 cm pour la détermination des résistances à la flexion 3 points et à la compression. Ils doivent être graissés avant leur utilisation.



**Figure II.2.17:** moule normalisé

Les étapes de préparation du mélange sont représentées dans la figure II.2.18 :





**Figure II.2.18** : Les étapes de préparation du mélange 1

➤ **Méthode 2 :**

Cette méthode a été développée au niveau de laboratoire de Granit-Ouest-Mostaganem (GICA) ;

Après pesage des matériaux (ciment, l'eau, l'adjuvant et les fibres), le ciment est placé dans le malaxeur de laboratoire. En premier lieu on ajoute 90% de l'eau et on malaxe, puis on verse le 10% du reste de l'eau et on malaxe encore, puis l'adjuvant. La dernière étape consiste à incorporer les fibres progressivement pendant le malaxage.

Une vibration de 25 coups a été effectuée après le remplissage des moules à l'aide d'une table à choc.

Dans cette méthode le rapport  $E/C = 0,21$ .

Dans ce programme expérimental, deux types des moules ont été utilisés; les éprouvettes prismatiques normalisées (NF. P 18-400, NA2600) de dimensions 7x7x28 cm pour la détermination des résistances à la flexion 3 points et Les éprouvettes cubiques normalisées 10x10x10 (NF. P 18-400) cm pour la détermination des résistances à la compression. Ils doivent être graissés avant leur utilisation.

Les étapes de préparation du mélange sont représentées dans la figure II.2.19 :



**Figure II.2.19** : Les étapes de préparation du mélange 2

Arasement des éprouvettes :

Cette opération de finition a été effectuée à l'aide d'une règle à arasement comme mentionnée dans les prescriptions de la norme NF P18-423.

#### **4.3.Conservation des éprouvettes**

Le moule rempli de béton est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage couvert d'un couvercle (film plastique), sur un support horizontal dans une salle humide ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , humidité relative supérieure ou égale à 90%).

Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage. Les éprouvettes sont alors marquées avec un crayon résistant à l'eau.



**Figure II.2.20** : Le démoulage des éprouvettes

#### **4.4.Conservation des éprouvettes dans l'eau**

Les éprouvettes marquées sont immergées dans l'eau à  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  dans des récipients adéquat jusqu'au moment de l'essai. Les éprouvettes doivent être retirées de l'eau, et doivent rester au moins 30 min à l'ombre pour bien séché.



**Figure II.2.21** : conservation des éprouvettes dans un bac rempli d'eau

#### 4.5. Résistances mécaniques des bétons

##### 4.5.1 Mesure des résistances à la compression et à la traction EN 196-1

Objectif de l'essai :

Il s'agit de définir les qualités de résistance des fibres dans ce béton (SIFCON).

Principe de l'essai :

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de béton. On a utilisé deux méthodes pour mélanger ce béton, alors on a comparé entre ces méthodes pour savoir laquelle est la plus conforme.

Essais de compression :

L'essai de compression consiste à rompre le corps d'épreuve entre les deux plateaux d'une presse de compression. La presse utilisée, est une machine de compression de modèle RP2000 QC et d'une capacité maximale de 2000KN conforme à la norme Norme : EN 12390-4.

➤ L'essai de compression sur des cubes équivalents :

L'essai de compression sur des cubes équivalents de 10x10x10 cm, a été réalisé sur la même machine de compression (figure II.2.22).



**Figure II.2.22:** machine de compression utilisée

Essai de traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion a été déterminée à l'aide d'une machine de flexion 3 points de 100 kN à 200 bars, sur des éprouvettes prismatique 7x7x28 cm conformément à la norme Normes : EN 12390-5.

Les éprouvettes ont été disposées dans la machine d'essai comme indiquée sur la (figure II.2.20).

Après un centrage parfait, la mise en charge a été effectuée avec une vitesse de montée de charge constante.

Au moment de rupture, la résistance à la traction par flexion est calculée comme suivant ;

$$M = P \cdot a / 2$$

$$f_{tj} = M \cdot v / I = \frac{6M}{a^3}$$

$P_r$  ; la charge de rupture. Et 'a' le coté de la section carrée de l'éprouvette (7 cm).



Figure II.2.23 : machine de flexion utilisée

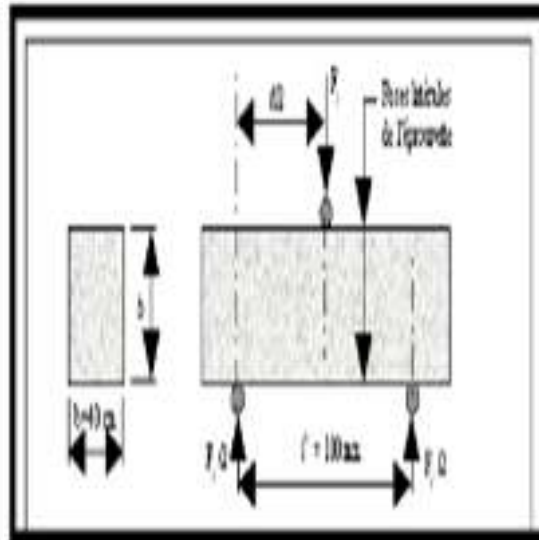


Figure II.2.24: Disposition de rupture en traction par flexion

#### 4.6. Propriété physique de béton

##### 4.6.1. Essai de mesure de la masse volumique

Les mesures ont été accompagnées par les pesées des éprouvettes 7x7x28 et 10x10x10 dans le but de calculer la masse volumique de béton à l'état durci.

Principe de l'essai :

La connaissance du poids de béton et de leur volume permet de calculer son poids volumique.

But de l'essai :

Le but de cet essai de calcul de la masse volumique est de déterminer expérimental au laboratoire de certains caractéristique physique de béton.

L'essai calcul de la masse volumique utilisé pour classer les différents types du béton.



Figure II.2.25 : Les pesées des éprouvettes

## 5. CONCLUSION

Ce travail expérimental a pour objectif de comparer les performances physico-mécaniques d'un coulis avec des pourcentages d'adjuvant différents pour déterminer le dosage de saturation en superplastifiant qui est le dosage à partir duquel le temps d'écoulement ne diminue pas appréciablement.

Pour élaborer un nouveau type de béton (SIFCON) qui est un béton à infiltration de coulis à base des fibres, nous avons adopté deux méthodes de préparation de mélange dans ce coulis.

Pour qualifier les performances de béton de nombreux essais ont été définis : la résistance en compression et la résistance à la traction par flexion qui constituent les propriétés les plus importantes sous l'influence de deux paramètres importants qui sont le pourcentage de l'adjuvant et le pourcentage des fibres ; et aussi l'influence de la méthode de préparation de mélange et la manière de remplissage des éprouvettes.

Les procédures d'essais étant décrites, les différents résultats obtenus sont présentés et commentés dans la partie suivante.

# Partie III:

## Résultats et Analyses

# Chapitre 1:

## Caractérisations des matériaux

**CHAPITRE 1: CARACTERISATION DES MATERIAUX****1. INTRODUCTION**

Cette partie présente, les résultats et les interprétations relatifs aux essais de caractérisations des matériaux entrant dans la composition du béton.

Il s'agit de :

La masse volumique absolue d'après la méthode de la mesure au pycnomètre ;

La masse volumique apparente ;

Surface spécifique de BLAINE(EN 196-6) ;

Essais de consistance VICAT (EN 196-3) ;

Essais de temps de prise (EN 196-3) ;

La masse volumique des fibres ;

Résistance à la compression de ciment CEM II.

**2. LA MASSE VOLUMIQUE (ABSOLUE ET APPARENTE)**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue et apparente sur ciment CEM II anhydre, les résultats sont représentés dans le tableau III.1.1.

**Tableau III.1.1** : Masse volumique absolue et apparente du ciment CEM II

<b>Caractéristique</b>	<b>Ciment CEM II</b>
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	3
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.7

**3. SURFACE SPECIFIQUE BLAINE**

Il s'agit de mesurer la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. Elle est exprimée en cm<sup>2</sup>/g, conformément à la norme (EN-196-6), le résultat est représenté dans le tableau III.1.2.

**Tableau III.1.2** : Surface spécifique de BLAINE du ciment

Essai N°	Température (°C)	Temps (s)	Temps moyen (s)	Surface Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	S.B Moyenne (cm <sup>2</sup> /g)
01	21	153,4	<b>156,3</b>	4383	<b>4425</b>
02	21	157,2		4437	
03	21	157,5		4442	
04	21,1	157,2		4437	

#### 4. CONSISTANCE

Pour commencer notre projet il faut fixer la quantité d'eau par rapport au ciment donc on doit déterminer le rapport E/C relatif à une consistance normale en utilisant l'appareil de Vicat (EN 196-3).

**Tableau III.1.3** : Résultats de consistance

Pâte de ciment	valeur
Eau (g)	135
Ciment (g)	500
E/C	0.27

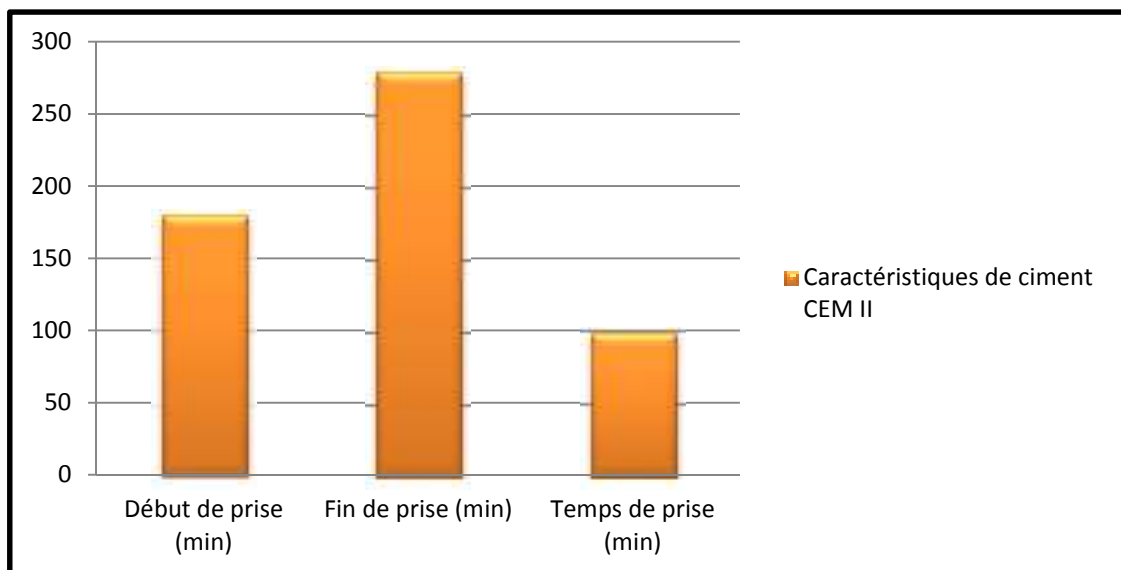
La consistance est conforme à la fiche technique.

#### 5. TEMPS DE PRISE

Il s'agit de trouver les temps de début et de fin de prise des pâtes pures de ciment étudiées conformément à la norme (EN 196 3), les résultats sont représentés dans le tableau III.1.3.

**Tableau III.1.4** : Résultats des temps de prise

Caractéristiques	Ciment CEM II
Début de prise (min)	181
Fin de prise (min)	280
Temps de prise (min)	99



**Figure III.1.1 :** Evaluation de temps de prise du ciment CEM II

La pâte du ciment obtenue présente un temps de début et de fin de prise qui correspondent aux valeurs données par la fiche technique et répondent aux exigences de la norme ASTM C 595 (ASTM C 595, 2003). Cette norme précise que les temps de prise initial et final d'une pâte de ciment mélangée ne doivent être ni inférieurs à 45 min ni supérieurs à 420 min.

## 6. LA MASSE VOLUMIQUE DES FIBRES

Les résultats des mesures ont donné :

La masse des fibres  $MF=120g$

Le volume d'eau  $V1=140ml$

D'après l'essai on a trouvé  $V2_{(Fibre+eau)}= 156 ml$  ;

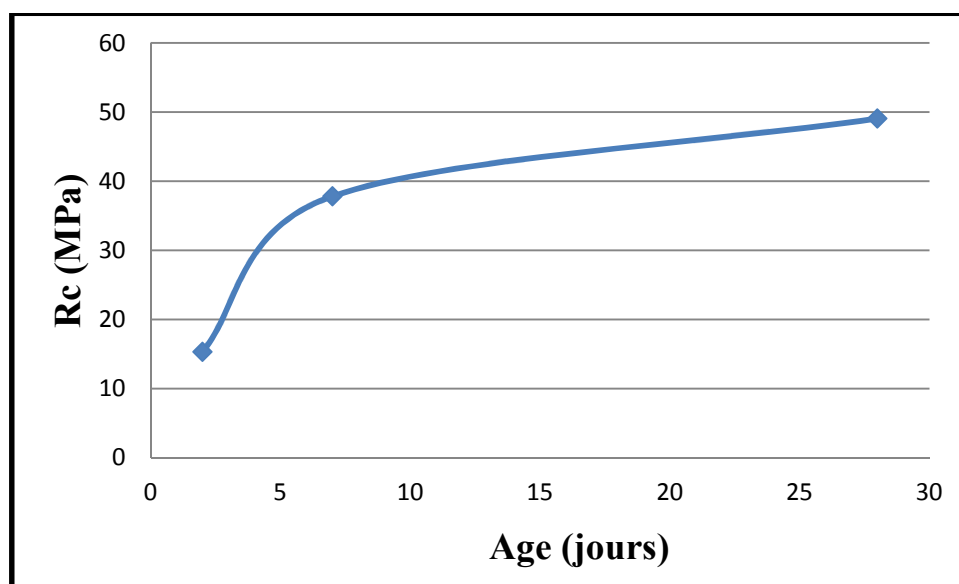
Donc la masse volumique des fibres  $\rho_f = \frac{MF}{V2-V1}$ , elle est évaluée à  $7,6 g/cm^3$ .

## 7. CLASSE DE RESISTANCE DU CIMENT

Il s'agit de trouver la résistance à la compression de ciment pour confirmer sa classe, les résultats sont présentés dans le tableau III.1.5 et la figure III.1.2.

**Tableau III.1.5** : résistance à la compression de ciment CEM II

Résistance à la compression de ciment CEM II	
Age (jours)	Compression (MPa)
2	15.31
7	37.81
28	49.06

**Figure III.1.2** : Evaluation de la résistance à la compression du ciment

La résistance à la compression à deux jours du ciment est supérieure à 10 MPa et celle à 28 jours est supérieure à 42,5 MPa, donc notre ciment est bien de classe 42,5R.

## 8. CONCLUSION

Nos résultats sont conformes aux normes pour les matériaux qu'on a utilisés dans notre recherche :

- La surface spécifique BLAINE est dans l'intervalle qui est mentionné dans la fiche technique du ciment CEM II (Matine) ;
- Le résultat de consistance de pâte normalisée du ciment est identique avec la fiche technique du ciment ;
- Les temps de début et de fin de prise sont conformes à ceux donnés par la fiche technique du ciment.

- La classe de résistance du ciment est conforme.

## Chapitre 2:

# Le coulis et le béton à l'état frais

## CHAPITRE 2 : LE COULIS ET LE BETON A L'ETAT FRAIS

### 1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente les résultats des travaux expérimentaux qui ont été réalisés dans le cadre de notre recherche, ainsi que des interprétations fiables à ces résultats.

Nous nous proposons de présenter les résultats relatifs aux essais sur nos coulis confectionnés en vue de montrer l'influence de l'adjuvant sur leurs comportements rhéologiques. Ils permettent de donner des interprétations sur la fluidité des coulis composés de ciment CEM II et de super plastifiants CHRYSO<sup>®</sup> FLUID Optima 208 A à 5 et à 60 minutes, ainsi que l'effet du dosage en super plastifiant.

De plus, on a présenté la formulation de SIFCON élaborée.

### 2. ANALYSE DES PROPRIETES DES COULIS DE CIMENT

L'étude expérimentale s'articule sur la mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh d'un coulis de ciment, en faisant varier le dosage de l'adjuvant avec un rapport E/C=0.35.

Le tableau III.2.1 donne les formulations de coulis de ciment

**Tableau III.2.1 : Dosages des constituants pour 1L**

<b>Dosage</b> <b>% de super plastifiant</b>	<b>Ciment (g)</b>	<b>Eau (g)</b>	<b>Super plastifiant (g)</b>
0.4	1700	595	6.8
0.6	1700	595	10.2
0.8	1700	595	13.6
1	1700	595	17
1.2	1700	595	20.4
1.4	1700	595	23.8

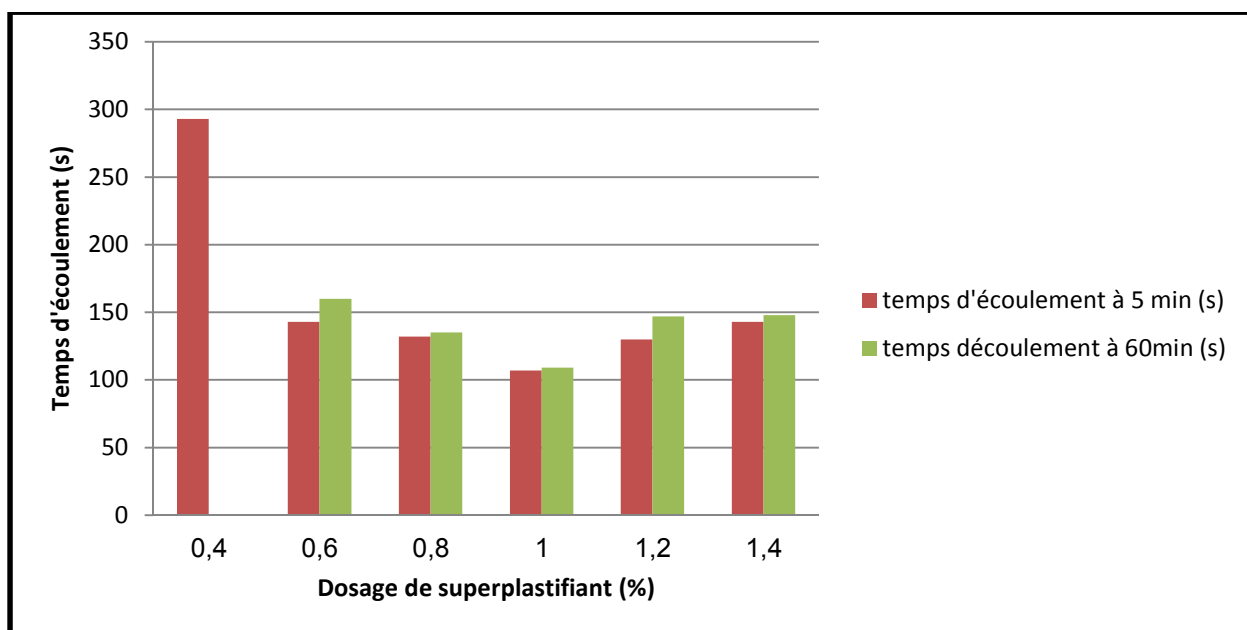
#### 2.1. L'influence du Dosage en Superplastifiant sur la fluidité du coulis à 5 et 60 minutes

Le tableau III.2.2 et la figure III.2.1 présente les résultats de la fluidité enregistrés à 5 et 60 minutes au cône de Marsh des coulis de différentes proportions de superplastifiant (0.4% -0.6% -0.8% -1% -1.2% -1.4%).

Il est à noter que pour les coulis avec une forte proportion de super plastifiant, une diminution de temps d'écoulement est observée surtout au voisinage du dosage de saturation (SP= 1%).

**Tableau III.2.2** : Les résultats obtenus de temps d'écoulement de coulis à 5 et à 60 min

Dosage de super plastifiant	Temps d'écoulement à 5 min (s)	Temps d'écoulement à 60min (s)
0,4	293	/
0,6	143	160
0,8	132	135
1	107	109
1,2	130	147
1,4	143	148



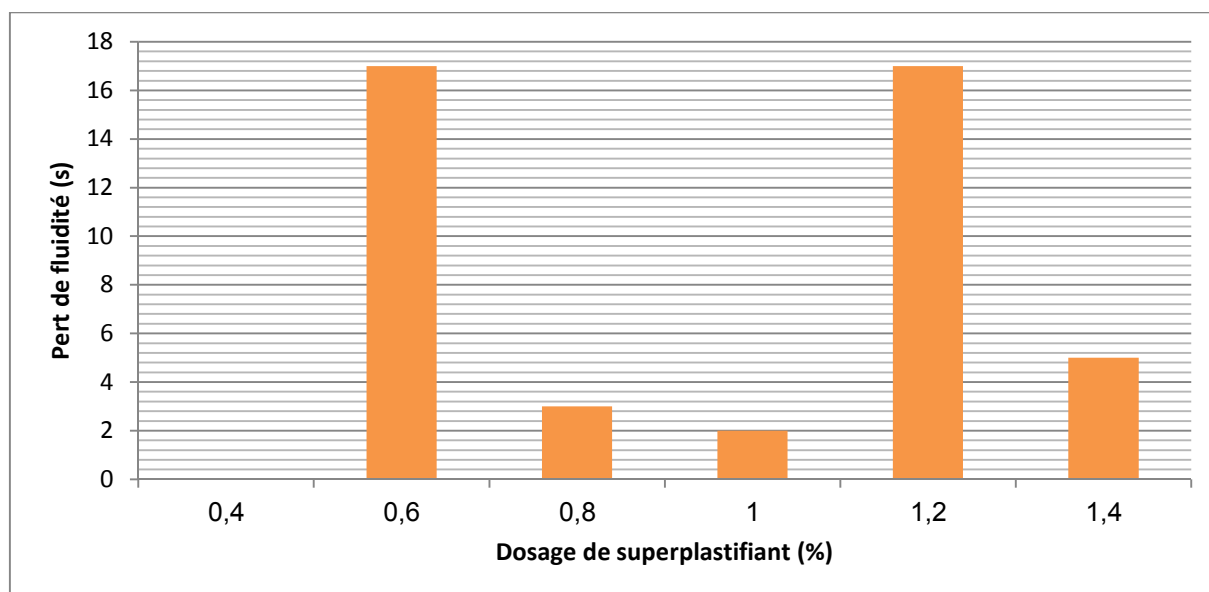
**Figure III.2.1** : Variation des temps d'écoulement à 5 et 60 minutes pour les coulis.

## 2.2. Perte de fluidité

La perte de la fluidité d'un coulis est caractérisée par la différence du temps d'écoulement enregistrée à 5 et à 60 minutes. Un coulis est dit stable s'il conserve sa fluidité aussi longtemps que possible. Les résultats illustrés sur le tableau III.2.3 et la Figure III.2.2 montrent que la perte de fluidité diminue avec le dosage en super plastifiant. Dans le coulis de ciment lorsqu'on ajoute 1 % de super plastifiant au ciment ayant un rapport E/C de 0.35, on observe une chute dans le temps d'écoulement de 2 secondes.

**Tableau III.2.3** : Résultats de la perte de fluidité des coulis

Dosage de superplastifiant(%)	L'écoulement à 5 min (s)	L'écoulement à 60min (s)	perte de fluidité (S)
0,4	293	/	/
0,6	143	160	17
0,8	132	135	3
1	107	109	2
1,2	130	147	17
1,4	143	148	5

**Figure III.2.2** : Perte de fluidité pour les coulis

### 3. ANALYSE DES PROPRIETES DES BETONS

#### 3.1. Méthode de mélange 1

Comme mentionné précédemment dans la partie 2 (chapitre 2) on a utilisé les moules prismatiques dans lesquels les fibres sont placées jusqu'à la fraction de volume requise soit 5%. Une fois les fibres mises en place, les moules ont été remplis avec le coulis qui doit être suffisamment fluide pour assurer une infiltration complète à travers les couches denses de fibres dans le moule. Une vibration est nécessaire pour assurer une bonne dispersion des fibres.

La Figure II.2.18 (partie II, chapitre 2) montre le processus d'infiltration des coulis aidée par des vibrations externes en plaçant le moule sur une table vibrante.

Les procédures de mélange des coulis (pâtes) étaient conformes aux exigences de la norme ASTM C 305.

### 3.2. Méthode de mélange 2

Pour la deuxième méthode on a utilisé les moules prismatiques et les moules cubiques mais dans cette méthode on a préparé le coulis ensuite on a incorporé les fibres progressivement pendant le malaxage. Le mélange a été versé dans les moules prismatiques et cubiques qui ont subi une vibration sur une table à choc accompagnée de 25 coups.

### 3.3. Formulation des bétons

Le tableau III.2.4 donne les formulations de SIFCON selon les deux méthodes de mélange.

**Tableau III.2.4 : Dosages des constituants pour 1kg/m<sup>3</sup>**

<b>Composition</b> <b>Bétons</b>	<b>E/C</b>	<b>Ciment (Kg)</b>	<b>Eau (Kg)</b>	<b>SP (%)</b>	<b>Super plastifiant (Kg)</b>	<b>Fibres métalliques (%)</b>
<b>Béton (méthode1)</b>	0.25	1959	489,8	1	19,59	5
<b>Béton (méthode 2)</b>	0.21	2060	450	1	20,60	5

## 4. CONCLUSION

La méthode de mesure de la fluidité par le cône de Marsh est un moyen efficace pour une première sélection du couple ciment super plastifiant, susceptible d'être utilisé pour la confection d'un béton à haute résistance. La fluidité du coulis est très liée à la composition du ciment et la perte de fluidité diminue avec le dosage en super plastifiant. Ceci influe directement sur le choix du type de super plastifiant le mieux adapté. Le dosage choisi est de 1% par rapport à la masse du ciment. Il est à noter que le dosage en ciment du SIFCON est supérieur aux autres types de bétons.

Pour le SIFCON on a analysé les deux méthodes de l'élaboration de ce type de béton et la manière de l'incorporation des fibres.

Le pourcentage des fibres est calculé en fonction de volume des moules. Il est fixé à 5% du volume du béton.

# Chapitre 3:

## Béton à l'état durci

## CHAPITRE 3 : BETON A L'ETAT DURCI

### 1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on présente les différents résultats obtenus dans cette recherche et cela pour montrer l'influence des fibres et la méthode de mélange sur la résistance en compression et en traction par flexion des éprouvettes de SIFCON de forme cubique et prismatiques.

### 2. LA MASSE VOLUMIQUE DE SIFCON

- Les masses volumiques du mélange 1 sont illustrées dans le tableau III.3.1.

**Tableau III.3.1** : la masse volumique de SIFCON du mélange 1

<b>L'âge de SIFCON (jours)</b>	<b>La masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) éprouvette (7x7x28)</b>
7 jours	2555
14 jours	2545
28 jours	2500

- Les masses volumiques du mélange 2 sont représentés dans le tableau III.3.2.

**Tableau III.3.2** : la masse volumique de SIFCON du mélange 2

<b>L'âge de SIFCON (jours)</b>	<b>La masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) éprouvette (7x7x28)</b>	<b>La masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) éprouvette (10x10x10)</b>
7 jours	2550	2410
14 jours	2496	2370
28 jours	2480	2400

Les valeurs des masses volumiques mesurées sur les éprouvettes de SIFCON issues des deux méthodes de mélange sont supérieures à 2200 Kg/m<sup>3</sup> (masse volumique d'un béton ordinaire) ce qui les attribue de bétons denses et par conséquent résistants. En comparant les deux

méthodes, c'est la première qui a permis d'obtenir les masses volumiques les plus élevées dépassant les  $2500 \text{ Kg/m}^3$  (masse volumique du béton armé).

### 3. PERFORMANCES MECANIQUES

L'un des points importants à étudier dans notre recherche est en effet les performances mécaniques.

Nous avons comparé les deux méthodes de mélange de nos bétons à infiltration de coulis.

Les essais sur les différentes éprouvettes doivent être effectués à certaines échéances.

- Eprouvettes prismatiques  $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}$  : destinées aux essais de la résistance à la flexion trois points.
- Eprouvettes cubiques  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$  : destinées aux essais de la résistance à la compression.



**Figure III.3.1** : Processus d'écrasement des éprouvettes dans les presses

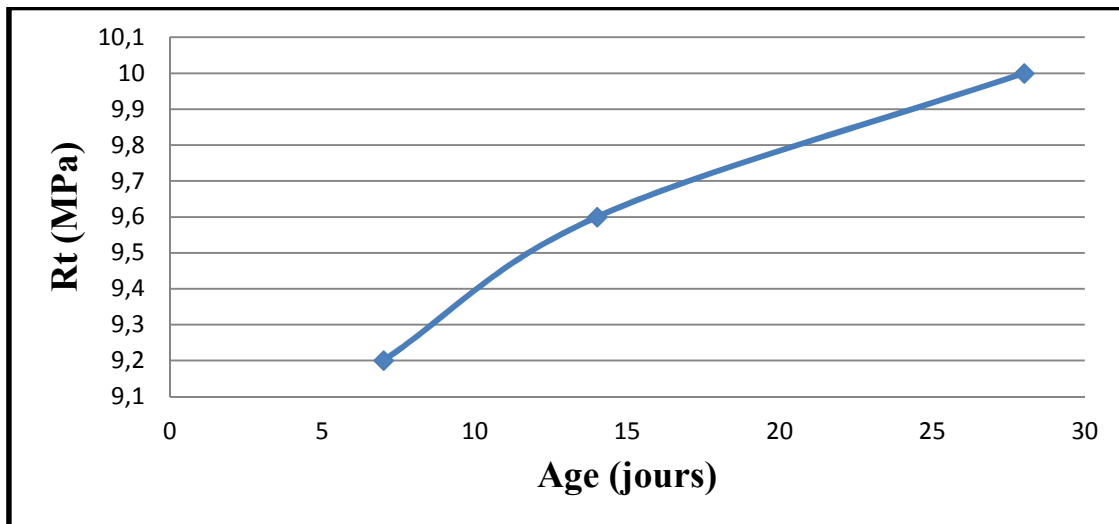
#### 3.1. Mélange 1

Les résultats des résistances à la traction et à la compression du mélange 1 sont représentés dans le tableau III.3.3.

**Tableau III.3.3** : Résistances à la compression et à la traction (mélange 1)

<b>Mélange 1 éprouvette (7x7x28)</b>		
<b>Age (jours)</b>	<b>Compression (MPa)</b>	<b>Traction (MPa)</b>
<b>7 jours</b>	70	9.2
<b>14 jours</b>	87.5	9.6
<b>28 jours</b>	90	10

La courbe de la figure III.3.2 montre l'évolution des résistances à la traction du mélange 1.

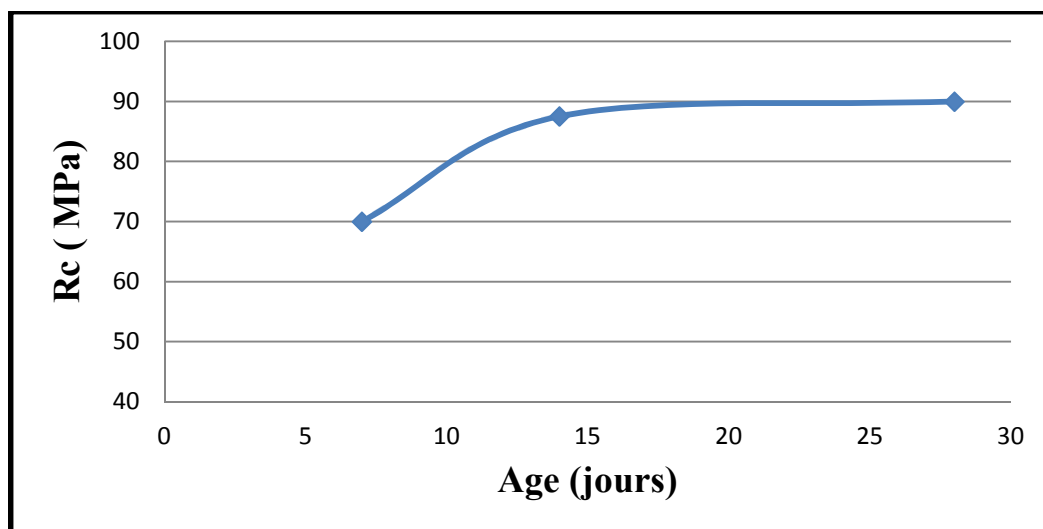
**Figure III.3.2** : Evolution des résistances à la traction du mélange 1

L'aspect des éprouvettes destinées à l'essai de traction par flexion est représentées par la figure III.3.3, elle montre la robustesse du SIFCON car les éprouvettes présentent des fissures mais ne se sont pas scindées en deux comme c'est le cas pour les autres bétons soumis à ce type d'essai.



**Figure III.3.3** : Aspect des éprouvettes destinées à l'essai de traction

La courbe de la figure III.3.4 donne les résistances à la compression du mélange 1.



**Figure III.3.4** : Evolution des résistances à la compression du mélange 1

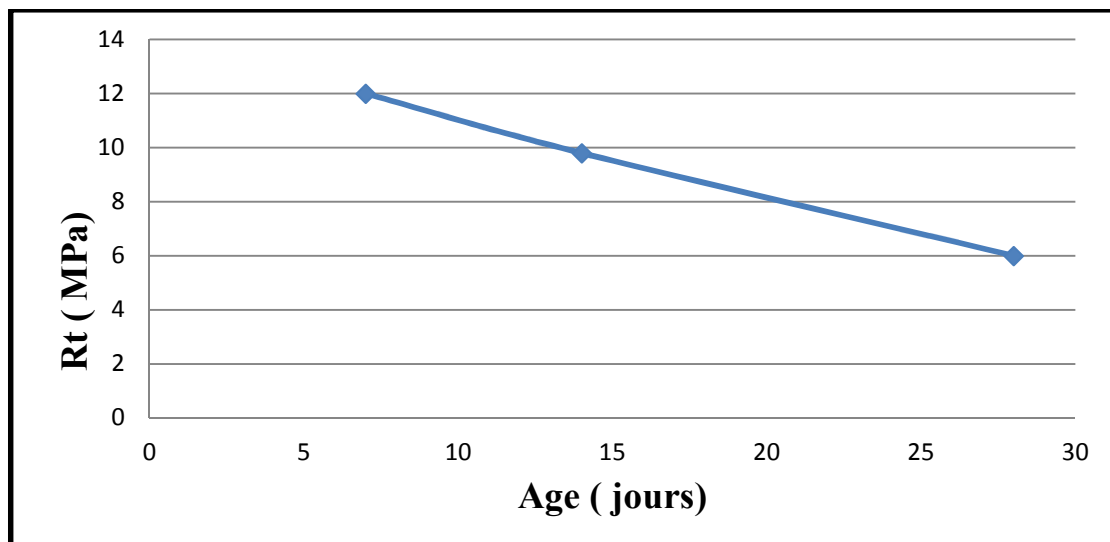
### 3.2. Mélange 2

Les résultats des mesures des résistances à la compression et à la traction du mélange 2 sont illustrés dans le tableau III.3.4.

**Tableau III.3.4** : Résistance à la compression et à la traction (mélange 2).

<b>Mélange 2</b>		
<b>Age (jours)</b>	<b>Compression (MPa) (éprouvette 10x10x10)</b>	<b>Traction (MPa) (éprouvette 7x7x28)</b>
<b>7 jours</b>	59	12
<b>14 jours</b>	71	9.8
<b>28 jours</b>	84.9	6

Les valeurs des résistances à la traction et à la compression du mélange 2 sont présentées respectivement par les figures III.3.5 et III.3.6. L'aspect des éprouvettes destinées à l'essai de compression est représenté par la figure III.3.7.

**Figure III.3.5** : Résistances à la traction du mélange 2

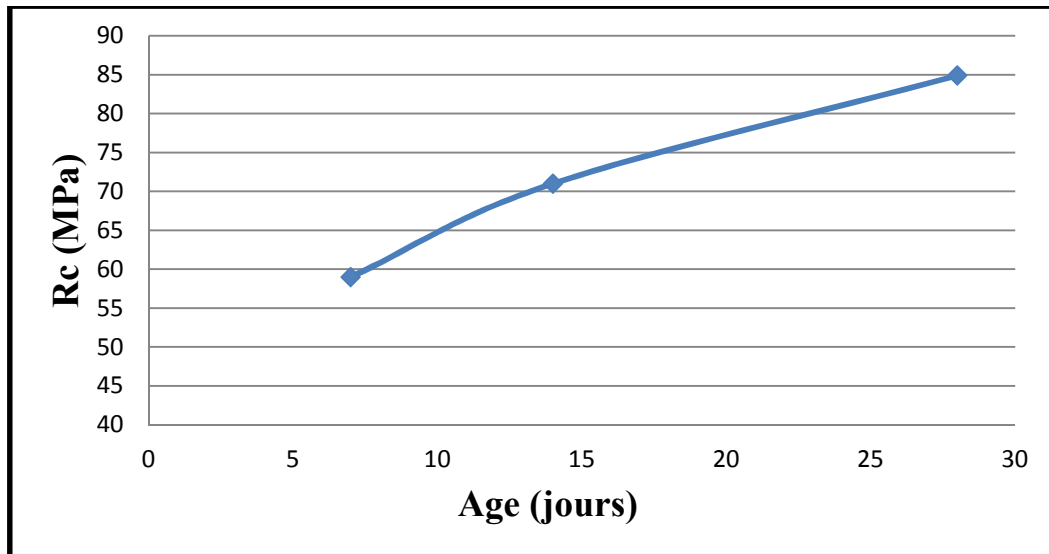


Figure III.3.6 : Résistances à la compression du mélange 2



Figure III.3.7 : Aspect des éprouvettes destinées à l'essai de compression

### 3.3.Comparaison des deux méthodes

- Résistance à la compression

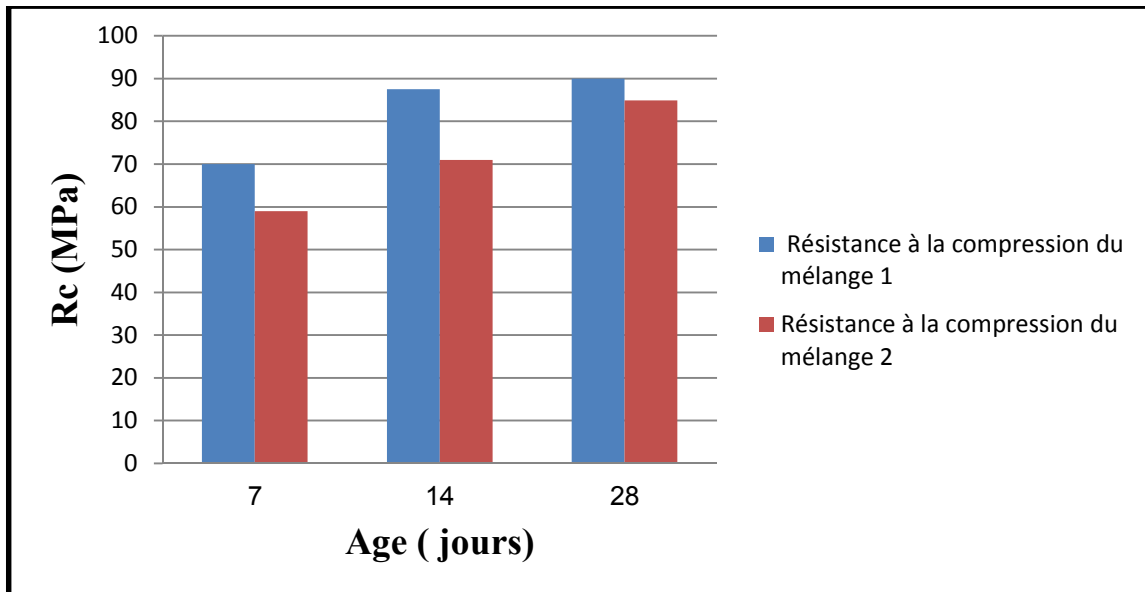


Figure III.3.8 : Comparaison des résistances à la compression entre les deux méthodes

➤ Résistance à la traction par flexion

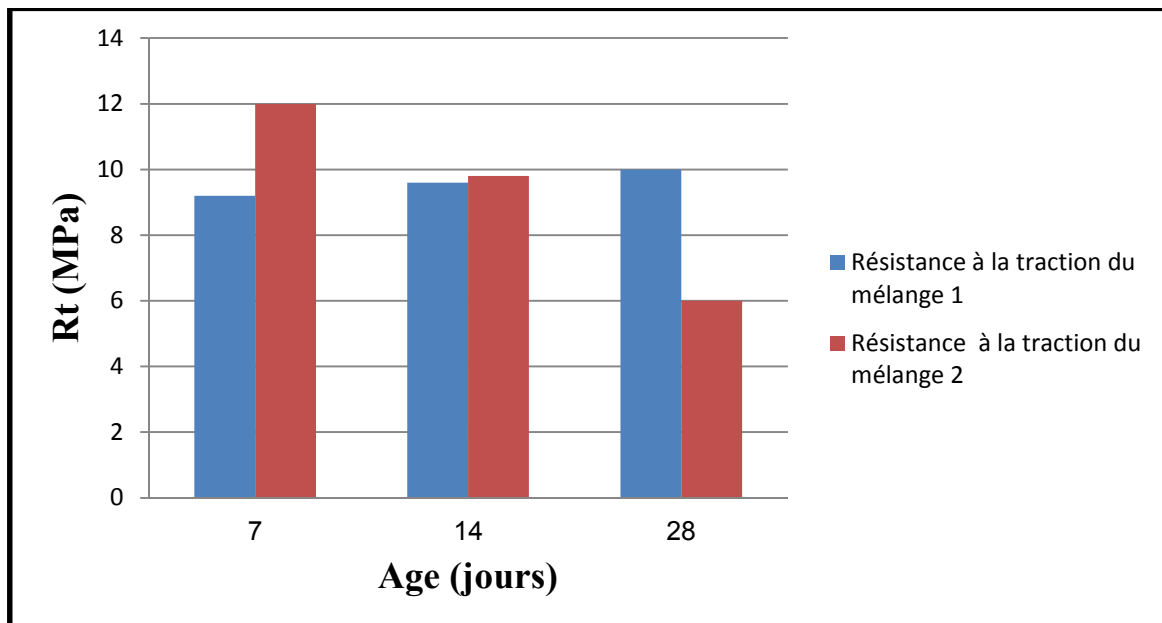


Figure III.3.9 : Comparaison des résistances à la traction entre les deux méthodes

**Commentaire :**

Les histogrammes sus indiqués, montrent qu'à toutes les échéances, les SIFCON mélangés par les deux méthodes développent de bonnes résistances à la compression dues à leur forte densité avec une supériorité pour les bétons mélangés selon la méthode 1. Concernant les résistances à

la traction par flexion du mélange 1, elles évoluent dans le bon sens en augmentant au fur et à mesure du temps contrairement au béton gâché selon la deuxième méthode qui affiche des valeurs décroissantes.

Le mélange selon la première méthode semble le plus correct car les fibres sont dispersées de façon équitables dans chaque moule contrairement à la seconde méthode où les fibres sont incorporées dans le malaxeur donc la quantité de fibres dans chaque moule est différente.

#### **4. CONCLUSION**

Nous avons mis en évidence les effets de l'introduction de 5% de fibres métalliques dans le coulis de ciment incorporant 1% de superplastifiant :

- Les SIFCON issus du mélange 1 présentent des masses volumiques supérieures à ceux du mélange 2.
- Les meilleures performances mécaniques (résistance à la compression) sont obtenues toujours avec le mélange 1.
- Les résistances à la traction des bétons du mélange 2 présentent une chute.
- Les bétons issus du mélange 2 développent de bonnes résistances néanmoins elles restent inférieures à celles des bétons du mélange 1.
- Une chute de la résistance à la traction par flexion dans la deuxième méthode s'explique par la mauvaise propagation des fibres métalliques dans les éprouvettes de SIFCON.

On conclut dans ce chapitre que la première méthode est plus raisonnable et pratique pour élaborer le SIFCON puisque ses caractéristiques physiques et mécaniques sont meilleures.

# Conclusion générale et perspectives

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Notre étude a été menée dans le but de découvrir un béton innovant composé de fibres d'acier infiltrées de coulis et de contribuer à son élaboration afin d'atteindre un objectif qui est de réaliser un béton de haute résistance.

Le SIFCON est un béton qui présente de nombreuses différences par rapport aux matériaux conventionnels : béton et béton fibré, notamment en ce qui concerne sa composition. Par conséquent, il nécessite des méthodes de test et de conformité spéciales.

L'étude de tous les paramètres susceptibles d'influencer sur les propriétés de SIFCON est très difficile à réaliser dans un laboratoire peu équipé, car cela nécessite du temps, des moyens parfois sophistiqués et la collaboration de plusieurs chercheurs.

Les conclusions suivantes ont été tirées sur la base des résultats obtenus :

- Nos résultats pour les matériaux qu'on a utilisés dans notre recherche sont conformes aux normes.
- La fluidité du coulis est très liée à la composition du ciment et la perte de fluidité diminue avec le dosage en superplastifiant ; Ceci influe directement sur le choix du type de superplastifiant le mieux adapté ; Le dosage choisi est de 1% par rapport à la masse du ciment
- Il est à noter que le dosage en ciment du SIFCON est supérieur aux autres types de bétons.
- Pour le SIFCON on a analysé les deux méthodes de l'élaboration de ce type de béton et la manière de l'incorporation des fibres.
- Les SIFCON issus du mélange 1 présentent des masses volumiques supérieures à ceux du mélange 2.
- Les bétons issus du mélange 2 développent de bonnes résistances néanmoins elles restent inférieures à celles des bétons du mélange 1.
- Une chute de la résistance à la traction par flexion dans la deuxième méthode s'explique par la mauvaise propagation des fibres métalliques dans les éprouvettes de SIFCON.

**Travaux de recherches suggérés en prolongement :**

Nos critères de résistance demandant d'être complétés par l'étude de l'influence des autres paramètres sur cette résistance comme :

- L'élancement de fibres,
- L'orientation de fibres,
- Le rapport E/C,
- La géométrie des fibres,
- La variation du pourcentage des fibres.....etc.

Nous suggérons l'utilisation d'un autre type de ciment car celui utilisé dans cette étude semble de qualité moindre que le CEM I.

Pour assurer de meilleures performances de SIFCON, un sable fin de classe 0/1 devrait être inclus dans le mélange car d'après la littérature il contribue mieux au développement de performances physiques, mécaniques et de durabilité en plus il facilite l'opération de malaxage.

# Références bibliographiques

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1)- **P. Witier, G. Platrer**, « Analyse et caractérisation de matériaux de construction », Editions Techniques de l'ingénieur (Live en ligne).
- (2)- **Cents en PPF**, partie 4 les mortiers et coulis, les techniques particulières de mise en œuvre.
- (3)- **R. Dupain, R. Lanchon, J.C. Saint-Arroman**, « GRANULATS, SOLS, CIMENTS, ET BETON », Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Nouvelle édition conforme aux normes européennes. Casteilla, 2004.
- (4)- **K. Benboudjema, M. Djerroud, S. Moussaoui**, « MEMOIRE DE FIN D'ETUDE » : influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR), promotion 2013.
- (5)- « NOUVEAU GUIDE DU BETON ET DE SES CONSTITUANTS ». Edition Eyrolles 61 bd saint-Germain 75240 Paris.
- (6)- **R. Dupain, R. Lanchon, J.C. Saint-Arroman**, « GRANULATS, SOLS, CIMENTS, ET BETON ». Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Nouvelle édition conforme aux normes européennes. Casteilla, 2004.
- (7)- **R. Dupain, R. Lanchon, J.C. Saint-Arroman**, « GRANULATS, SOLS, CIMENTS, ET BETON ». Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Nouvelle édition conforme aux normes européennes. Casteilla, 2004.
- (8)- **K.challah, O. Bekhtaoui**, « Caractérisation rhéologique et physique-mécanique d'un béton autoplaçant renforcé de fibres de polypropylène et de fibres métalliques». MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE L'UNIVERSITE DE BOUMERDES 2008-2009.
- (9)- **N. Touloum**, « Attaché de recherche division matériaux unité physico-chimie cycle de formation » CRERIB2013.
- (10)- **A. R'MILI** « Etude de formulation et de comportement des bétons autoplaçant ». THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE TUNIS 2010.
- (11)- **C. Caron**, « Injection des sols », Nouvelle Edition, Edition Eyrolles, Paris, 1995.
- (12)- **V.H. Nguyen**, « Comportement rhéologique et écoulement au cône de Marsh de coulis cimentaires », THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE CERGY – PONTOISE, 2007.

- (13)- **H. Cambefort**, Injection des coulis –Tome I– « Principes et méthodes », Edition Eyrolles , 1964.
- (14)- « GUIDE DE BONNES PRATIQUES POUR L’UTILISATION DES FIBRES DANS LE BETON ». 2005 Association béton Québec. Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec.
- (15)- **D.R. Lankard**, «Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) », Concrete International, 1984.
- (16)- **D.R. Lankard**, «Steel Fiber Concrete, US-Sweden Joint Seminar», June 1985.
- (17)- **P.M. Balaguru, and S.P. Shah**, «Fiber Reinforced Concrete Composites», McGraw-Hill Inc., New York, 1992.
- (18)- **J.R. Homrich, and A.E Naaman**, «Fiber Reinforced Concrete», ACI SP-105, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987.
- (19)- **H.N. Reinhardt, and C. Fritz**, “Fiber Reinforced Cements and Concretes” - Recent Developments, Elsevier, 1989.
- (20)- **ACI Committee 544**, “State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete”, Concrete International, 1982.
- (21)- **A.E. Naaman**, “Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites”, Journal of Advanced Concrete Technology, 2003.
- (22)- **P.M. Balaguru, and J. Kendzulak**, “Mechanical Properties of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON),” Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987.
- (23)- **A.E. Naaman, J.K. Wight**, and H. Abdou, “SIFCON Connections for Seismic Resistant Frames”, Steel Reinforced Concrete, Compilation 27, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1991.
- (24)- **B.T. Wood, B.T.**, “Use of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) in High Regions of Earthquakes Resistant Structures”, Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, 2000.
- (25)- **R. Mondragon**, “SIFCON in Compression”, Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987.
- (26)- **B. Schneider, R. Mondragon and J. Kirst**, “Task Report NMERI”, New Mexico Research Institute, June 1984.

(27)- **M. Sonebi, L. Svermova, and P.J.M. Batros**, “Statistical Modeling of Cement Slurries for Self-Compacting SIFCON Containing Silica Fume”, *Materials and Structures Journal*. 2005.

# Annexes

ALGÉRIE



# متين Matine

**LAFARGE**  
Construire  
des villes meilleures™



## ***Ciment pour béton exigeant***

**CPJ - CEM II/B 42.5 N**

**Matine** Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

### **Matine**

CPJ - CEM II/B 42.5 N.

**Matine** est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN 197-1)

### **AVANTAGES PRODUIT**











- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02, Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie

Tél: + 213 (0) 21 98 54 54

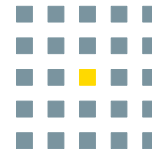
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94

www.lafargealgerie.com

 **LAFARGE**  
لافارج

# CHRYSO®Fluid Optima 208 A

## Superplastifiant haut Réducteur d'eau



**CHRYSO®Fluid Optima 208 A** est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de dernière génération. Cet adjuvant fait appel à nos avancées les plus récentes dans la synthèse des molécules afin d'apporter :

- une large plage de dosage,
- un fort potentiel de réduction d'eau,
- du maintien d'ouvrabilité,
- une cohésion du béton.

**CHRYSO®Fluid Optima 208 A** est particulièrement recommandé pour le béton prêt à l'emploi. Cet adjuvant peut également être utilisé en combinaison avec d'autres produits de la gamme CHRYSO®.

### Informations indicatives

- Nature : liquide
- Couleur : Brun
- Densité (20° C) :  $1.070 \pm 0.020$
- pH :  $5.20 \pm 2.00$
- Extrait sec (halogène) :  $25.10 \% \pm 1.50 \%$
- Extrait sec (EN 480-8) :  $25.10 \% \pm 1.50 \%$
- Durée de vie : 18 mois

### Informations normatives et réglementaires

- Ce produit satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 « ADJUVANTS DU BETON ».

### Domaines d'application

- Tous types de ciments
- BHP et BTHP
- Bétons plastiques, très plastiques, fluides
- Bétons pour ouvrages très ferraiillés
- Bétons précontraints
- Dallages, sols industriels
- Coulis d'injection

### Précautions

Stocker à l'abri du gel.

Eviter l'exposition prolongée à de fortes chaleurs. En cas de gel, ce produit conserve ses propriétés. Après dégel, une agitation efficace est nécessaire jusqu'à l'obtention d'un produit totalement homogène.

### Mode d'emploi

Plage de dosage : 0.3 à 3.0 kg pour 100 kg de ciment.

Il est courant de doser ce produit à 1 % du poids du ciment.

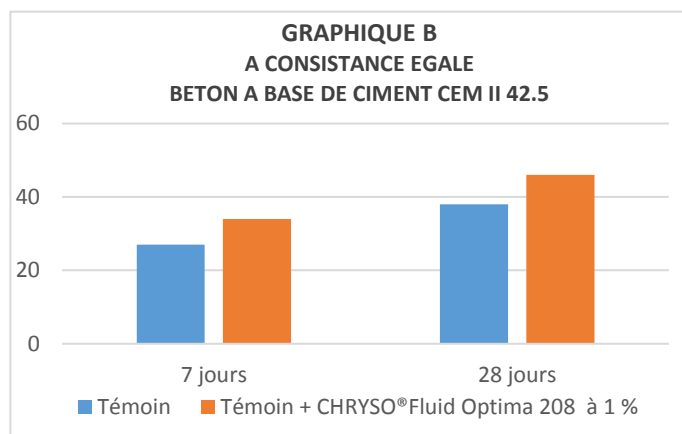
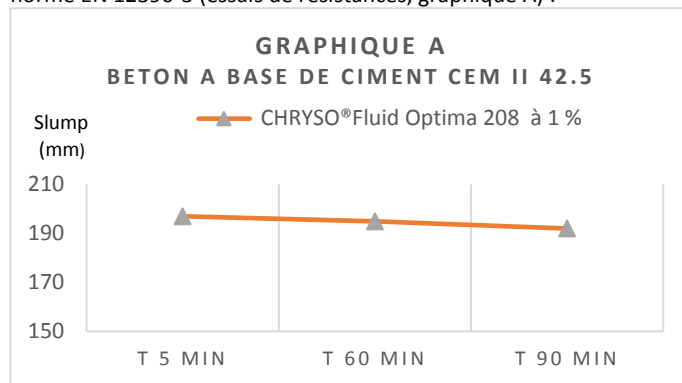
Ce produit doit être incorporé de préférence dans l'eau de gâchage ou en fin de malaxage.

Dans le cas d'un ajout différé sur béton frais, dans un camion toupie, il est nécessaire de malaxer à grande vitesse puis à vitesse lente (avec un minimum de 3 minutes, pour chaque régime).

L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitées pour le béton.

### Essais

Ces résultats ont été obtenus selon les modalités définies par la norme EN12358 (essais de consistance, graphique B) et la norme EN 12390-3 (essais de résistances, graphique A) :

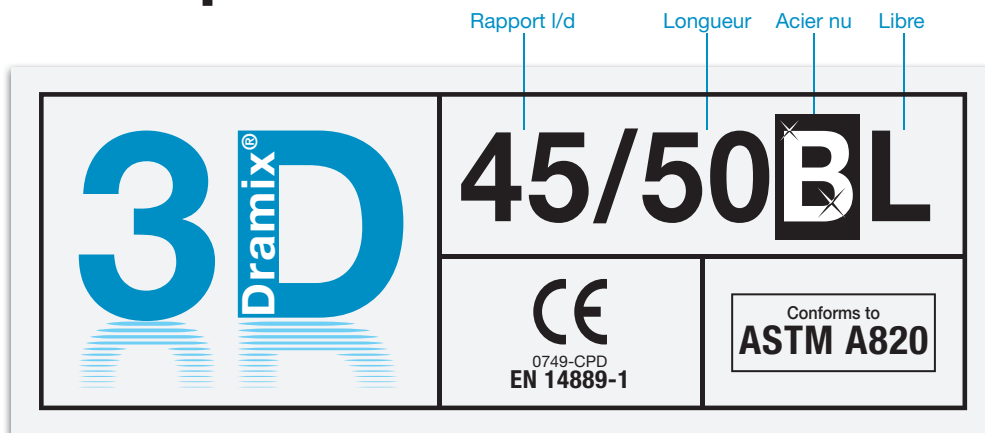


### Sécurité

Ce produit est classé « sans danger ». En cas d'exposition, le port d'équipements de protection individuelle est recommandé.

Avant toute utilisation, consulter la fiche de données de sécurité [sur le site internet [www.chryso.dz](http://www.chryso.dz)].

## Fiche technique



### DRAMIX® 3D



La gamme Dramix® 3D est la référence dans le renforcement en fibres d'acier. En combinant des performances élevées, une durabilité et une facilité d'utilisation, la gamme 3D vous offre une alternative plus rapide et rentable face aux solutions traditionnelles de renforcement du béton.

- > Ancrage original
- > Résistance à la traction standard

**Dramix® 3D est une solution économique pour**

- > les sols industriels
- > les applications relatives aux tunnels
- > la préfabrication
- > les applications relatives aux bâtiments résidentiels

Bekaert fournit toute l'assistance dont vous avez besoin pour votre projet. Nous vous aidons à déterminer les types de fibres les plus appropriés, nous calculons les dosages optimum et sélectionnons la qualité de béton adéquate.

Contactez votre assistance locale.

Consultez [www.bekaert.com/dosingdramix](http://www.bekaert.com/dosingdramix) pour connaître nos recommandations relatives à la manipulation, au dosage et au malaxage.

Sous réserve de modifications. Toutes les informations de ce document décrivent nos produits de manière générale uniquement. Les informations détaillées et les spécifications des produits sont disponibles sur demande.

### PERFORMANCES

#### Propriétés du matériau

##### Résistance à la traction :

$R_{m,nom}$  : 1.115 N/mm<sup>2</sup>

Tolérances : ± 7,5% moyenne

Module de Young : ± 210.000 N/mm<sup>2</sup>

#### Géométrie

Famille de fibre **3D**



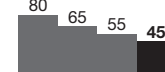
Longueur (l) 50 mm



Diamètre (d) 1,05 mm



Elancement (l/d) 45



#### Réseau de fibre

2,9 km par m<sup>3</sup> (pour 20 kg/m<sup>3</sup>)

2.802 fibres/kg

##### Dosage minimum :

20 kg par m<sup>3</sup> (conformément au label CE)

#### Gamme Dramix®

5D 4D 3D

Résistance à la traction	
Ductilité du fil	
Résistance de l'ancrage	

### CERTIFICATS DU PRODUIT



Conforms to **ASTM A820**

Dramix® est certifié pour une utilisation structurelle conformément à la norme EN 14889-1 (système '1'). Une information détaillée est disponible sur demande.

### CERTIFICATS DU SYSTÈME



Toutes les usines Dramix® sont certifiées ISO 9001 et ISO 14001.

### EMBALLAGE



SACS 20 kg



BIG BAG 800 kg

### STOCKAGE

