République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Universitaire Yahia FARES de Médéa



Faculté de Technologie

**Projet de fin d'études**

**Pour l'obtention du diplome de Master**

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux en Génie civil

***Thème :***

# Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire fibré avec déchets de verre

***Etudié par :***

*Toumi Djamel*

*Zerrouki Youcef*

***Encadré par :***

*Pr. Debieb Farid*

*Melle Benchouaf Amina*

***Promotion 2020***

# *Remerciements*

Nous remercions, en premier lieu, notre dieu qui a bien voulu nous donner la force pour effectuer le présent travail.

On exprime nos profondes reconnaissances à notre promoteur, le Professeur DEBIEB Farid pour, et notre copromotrice Melle BENCHOUAF Amina pour leurs disponibilité, leurs conseils et leurs aide qui ont permis de mener à bien ce travail.

On exprime également notre gratitude envers Mr OULD KHAOUA Younes pour ses aides, Sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous remercions aussi tous les enseignants du département de génie civil.

Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

En fin, nous tenons à remercier les membres du jury qui ont consacré un peu de leur temps pour examiner et évaluer ce modeste travail.

Djamel & Youcef ….

# *Dédicaces*

A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi; ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi; en témoignage de mon éternelle reconnaissance je dédie essentiellement cette thèse à mes parents.

A ma très chère sœur, qui m'ont énormément aidé et à qui je témoigne toute mon affection et ma profonde admiration.

A toute la famille Toumi et la famille Tebbal qui m'ont toujours soutenue.

A mon binome Zerrouki youcef et sa famille.

A tous ceux que j'aime et qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail…

Toumi Djamel...

# *Dédicaces*

A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi; ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi; en témoignage de mon éternelle reconnaissance je dédie essentiellement cette thèse à mes parents.

A ma très chère sœur, qui m'ont énormément aidé et à qui je témoigne toute mon affection et ma profonde admiration.

A toute la famille Zerrouki et la famille Ferrgani qui m'ont toujours soutenue.

A mon binome Toumi Djamel et sa famille.

A madame djedi.

A tous ceux que j'aime et qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail…

Zerrouki Youcef...

# ملخص

إن استخدام الألياف البلاستيكية والنفايات الزجاجية في تكوين الخرسانة ذاتية الدمج (خ ذ د) هو عمل يهدف، من ناحية، إلى حماية البيئة من خلال إعادة استخدام النفايات، ومن ناحية أخرى، استعادة - المنتجات الصناعية في مجال البناء. الهدف من هذا العمل هو دراسة التأثير المشترك للألياف البلاستيكية PET (أب) والزجاج (الركام الناعم) على سلوك الخرسانة ذاتية الدمج. بسبب وباء COVID-19 ، لم يتم تنفيذ بعض الأعمال التجريبية. النتائج التي تم العثور عليها تؤكد النظرية من خلال المساهمة الإيجابية للألياف البلاستيكية على الخواص الفيزيائية والميكانيكية لـ (خ ذ د). يوصى باستخدام جزء حجمي يبلغ 0.5٪ للألياف البلاستيكية بجرعة 1.2٪ للحصول على الخرسانة ذاتية الدمج ذات الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المثلى.

**RESUME**

L'utilisation des fibres de plastique et des dechets de verre dans la composition du béton autoplaçant (BAP) est un travail qui vise d'une part à proteger l'environnement en réutilisant les déchets et d'autre part la valorisation des sousproduts industriels dans le domaine de la construction. Le but de ce travail est d'etudier l'effect combiné des fibres plastique PET (FP) et du verre (sous forme sableux) sur le comportement du béton autoplacant (BAP). A cause de la pandemie du COVID-19, une partie du travail expérimentale na pas été réalisé. Les résultats trouvés confirment la théorie par l'apport positif des FP sur les propriétés physiques et mécaniques du BAP. Une fraction volumétrique de 0.5% en FP avec un dosage de 1.2% en superplastifiant sont recommandés pour un BAP à propriétés physiques et mcéniques optimales.

**Abstract**

The use of plastic fibers and glass waste in the composition of self-consolidating concrete (SCC) is a work which aims, on the one hand, to protect the environment by reusing waste and, on the other hand, the recovery of sub -industrial products in the field of construction. The aim of this work is to study the combined effect of PET plastic fibers (PF) and glass waste (fine aggregates) on the behavior of SCC. Due to the COVID-19 pandemic, some of the experimental work has not been carried out. The results found confirm the theory by the positive contribution of PF on th of superplasticizer is recommende.e physical and mechanical properties of SCC. A volumetric fraction of 0.5% of PF with 1.2%.

## *CHAPITRE I : SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES*

**Tableau I.1 :** Classification des BAP selon leur application ..... 07

**Tableau I.2 :** Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage…...15

**Tableau I.3 :** Critères de stabilité ..... 22

**Tableau I.4 :** caractéristiques de fibres de carbone ..... 29

**Tableau I.5 :** différent types de verres filables ..... 30

**Tableau I.6 :** caractéristiques physiques et mécaniques de fibres de verres ..... 31

**Tableau I.7 : (a)** caractéristiques physique de fibres végétales les plus utilisées…..33

**Tableau I.7 : (b)** caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales ..... 34

**Tableau I.8 :** Application des divers renforcements de fibres ..... 34

**Tableau I.9 :** Définition de la formulation..... 36

**Tableau I.10 :** Recommandation concernant l'espacement normalisé des barres afin d'éviter Le blocage dans les BAPF .....45

**Tableau I.11 :** Domaines d'application de Bap fibre ..... 47

## *CHAPITRE II: MATERIAUX ET ESSAIS*

**Tableau II.1 :** Composition chimique du ciment CEM II 42,5 ..... 62

**Tableau II.2 :** Caractéristiques physiques du ciment CEM II 42,5..... 62

**Tableau II.3 :** Composition minéralogique du ciment CEM II 42,5..... 63

**Tableau II.4 :** Analyse granulométrique du sable d'OUED SOUF ..... 64

**Tableau II.5 :** Caractéristiques physiques du sable ..... 65

**Tableau II.6 :** Caractéristiques physiques du gravier 3/8..... 66

**Tableau II.7 :** Analyse granulométrique du gravier 3/8..... 67

**Tableau II.8 :** Caractéristiques physiques du gravier 8/15..... 67

**Tableau II.9 :** Analyse granulométrique du gravier 3/15..... 68

**Tableau II.10:** Formulation des different mortiers obtenus ..... 71

**Tableau II.11** Les compositions de déférentes formulations de BAP étudient

Dans 33l de béton… ..... 72

**Tableau II.12:** different formulation des BAPF étidiées dans un volume

De 33L de béton……..73

**Tableau II.13:** compositions de la formulation de BAP adoptee……..73

## ***CHAPITRE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS***

**Tableau III.1 :** Résultats sur MAPT pour différentes % de SP et S/M..... 89

**Tableau III.2 :** Résultats obtenus sur les BAPFP étudiés à l'état frais ..... 90

## *CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE*

**Figure I.1 :** Application du BAP dans les planchers dans la préfabrication Quelques exemples d'utilisation de BAP ..... 06
**Figure I.2 :** Ciment ..... 07
**Figure I.3 :** Gravier ..... 08
**Figure I.4 :** Sable ..... 08
**Figure I.5 :** l'eau de gâchage ..... 09
**Figure I.6 :** Essai d'étalement (Slump flow) ..... 18
**Figure I.7 :** Essai J-Ring ..... 18
**Figure I.8 :** Essai d'entonnoir (V- Funnel) ..... 19
**Figure I.9 :** Essai de la boite en L (L-Box) ..... 20
**Figure I.10 :** Essai du tube en U (U-Box) ..... 21
**Figure I.11 :** Essai de stabilité au tamis ..... 22
**Figure I.12 :** Evolution de la résistance mécanique d'un BAP(SCC) et d'un BV(REF) ..... 23
**Figure I.13 :** Phénomène de ressuage ..... 25
**Figure I.14 :** Retrait plastique de BAP et de béton vibré de structure (T=20°C, 50% HR) ..... 26
**Figure I.15 :** Quelques formes de fibres d'acier ..... 28
**Figure I.16 :** Fibres de carbones ..... 30
**Figure I.17 :** Fibres de verres ..... 31
**Figure I.18 :** Fibres d'Aramide hachées et en files ..... 32
**Figure I.19 :** Fibres de polypropylène ..... 33
**Figure I.20 :** Processus de couture ..... 40
**Figure I.21 :** Effets des fibres sur l'étalement des BAP ..... 43
**Figure I.22 :** L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre ..... 44
**Figure I.23 :** L'évolution du temps d'écoulement à travers l'essai V-Funnel en fonction du facteur de fibres ..... 45
**Figure I.24 :** Courbe effort-flèche pour différentes compositions ..... 48
**Figure I.25 :** Comportement à la traction de différentes compositions ..... 49

## *CHAPITRE II: MATERIAUX ET ESSAIS*

**Figure II.1 :** Le ciment utilisé ..... 63
**Figure II.2 :** Courbes granulométriques de sable ..... 65
**Figure II.3 :** Gravier de Hanacha 3/8 ..... 66
**Figure II.4 :** Gravier Hanacha 8/15 ..... 66
**Figure II.5 :** Courbes granulométriques des granulats ..... 68
**Figure II.6 :** MEDAFLOW 145 ..... 69
**Figure II.7 :** Fibre plastique ..... 70
**Figure II.8 :** Malaxeur à mortier. ..... 74
**Figure II.9 :** Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré ..... 75
**Figure II.10:** Développement de l'essai d'étalement pour mortier ..... 76
**Figure II.11 :** Protocole de l'essai d'étalement et T50 ..... 77
**Figure II.12 :** Dimensions de l'entonnoir en V (V-funnel) ..... 78
**Figure II.13 :** Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) ..... 79
**Figure II.14 :** Protocole de l'essai de stabilité au tamis. ..... 80
**Figure II.15 :** Boite en L ..... 81
**Figure II.16 :** Protocole de l'essai de la boîte de L-Box ..... 81
**Figure II.17 :** Presse hydraulique ..... 82
**Figure II.18 :** Essai de traction par flexion ..... 83
**Figure II.19 :** Réctractomètre ..... 84
**Figure II.20 :** Etalonnage de l'appareil ..... 85

## *CHAPITRE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS*

**Figure III.1 :** Etalement des BAPF avec SP constant ..... 91
**Figure III.2 :** Dosage en SP en fonction de F ..... 92
**Figure III.3 :** Etalement des BAPF avec SP variable ..... 92
**Figure III.4 :** Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable ..... 93
**Figure III.5 :** L-BOX des BAPF avec SP constant ..... 94
**Figure III.6:** L-BOX des BAPF avec SP variable ..... 95
**Figure III.7:** Stabilité au tamis des BAPF ..... 95
**Figure III.8:** Résistance à la traction des BAPF ..... 96
**Figure III.9:** Résistance à la compression des BAPF ..... 97

**SOMMAIRE**

**REMERCIEMENTS ET DIDICAS**

**RÉSUMÉ**

**LISTE DES TABLEAUX ET LISTE DES FIGURES**

**NOTATIONS ET ABRÉVIATION**

**INTRODUCTION GENERALE**

***CHAPITRE I : SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES***

**I.1 LE BETON AUTOPLACANT** ..... 04

**I.1.1 Introduction** ..... 04

**I.1.2 Définition** ..... 04

**I.1.3 Historique** ..... 04

**I.1.4 Particularité du BAP** ..... 05

**I.1.5 Les avantage des bétons autoplaçants** ..... 05

**I.1.6 Domaines d'utilisation des BAP** ..... 06

**I.1.7 Constituants d'un BAP** ..... 07

I.1.7.1 Le ciment ..... 07

I.1.7.2 Granulats ..... 08

I.1.7.3 L'eau ..... 09

I.1.7.4 Additions minérales ..... 09

I.1.7.5 Adjuvants chimiques ..... 10

I.1.7.6 Les superplastifiants ..... 10

I.1.7.7 Les agents colloïdaux ..... 10

**I.1.8 Formulation des BAP** ..... 11

I.1.8.1 Approche japonaise ..... 11

I.1.8.2 Formulation CBI modifiée ..... 12

I.1.8.3 Formulation LCPC (France) ..... 12

I.1.8.4 Formulation JSCE ..... 13

**I.1.9 Caractérisation d'un BAP** ..... 14

**I.1.9.1 Etat Frais** ..... 14

I.1.9.1.1 Capacité au remplissage ..... 15

I.1.9.1.2 Capacité de passage ..... 16
I.1.9.1.3 Résistance à la ségrégation ..... 16
I.1.9.1.4 Rhéologie des BAP ..... 16
**I.1.9.2 Essais sur béton frais** ..... 17
I.1.9.2.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow) ..... 17
I.1.9.2.2 Essai de la couronne J (J-Ring) ..... 18
I.1.9.2.3 Essai d'entonnoir (V-Funnel) ..... 19
I.1.9.2.4 Essai de la boite en L (L-Box) ..... 20
I.1.9.2.5 Essai de la boite en U (U-Box) ..... 21
I.1.9.2.6 Essai de stabilité au tamis ..... 21
**I.1.9.3 Etat Durci** ..... 22
I.1.9.3.1 Résistance à la compression ..... 23
I.1.9.3.2 Résistance à la traction par flexion ..... 24
I.1.9.3.3 Module de Déformation Longitudinal ..... 24
I.1.9.3.4 Le retrait ..... 24
I.1.9.3.5 Le Retrait Thermique (plastique) ..... 25
I.1.9.3.6 Le Retrait Endogène ou d'Autodessiccation ..... 26
I.1.9.3.7 Le Retrait de Séchage ou de Dessiccation ..... 26
I.1.9.3.8 Fluage ..... 26
**I.2 BÉTONS DE FIBRES** ..... 27
**I.2.1 Définition** ..... 27
**I.2.2 Quelques fibres dans le béton** ..... 27
I.2.2.1 Les fibres métalliques ..... 27
I.2.2.2 Les fibres minérales ..... 28
A. Les fibres de carbone ..... 28
a) Fibres acrylique ..... 29
b) Précurseur brai ..... 29
B. Les fibres de verre ..... 30
I.2.2.3 Les fibres organiques ..... 32
A. Les fibres d'Aramide ..... 32
B. Les fibres de polypropylène ..... 32
I.2.2.4 Les fibres végétales ..... 33
I.2.2.5 Les fibres animales ..... 34

**I.2.3 Utilisation des fibres dans la construction** ..... 34
**I.2.4 Formulation des bétons de fibres** ..... 35
**I.2.5 Comportement Mécanique des bétons fibrés** ..... 37
I.2.5.1 Résistance à la compression ..... 37
I.2.5.2 Résistance à la traction directe ..... 38
I.2.5.3 Résistance à la flexion ..... 38
I.2.5.4 Résistance à la fatigue ..... 39
**I.2.6 Utilisation et influence de deux ou plusieurs types de fibres** ..... 39
**I.2.7 Durabilité des bétons de fibres** ..... 40
**I.2.8 Avantages et inconvénients** ..... 41

**I.3 BETON AUTOPLAÇANT FFIBRE** ..... 41
**I.3.1 Introduction** ..... 41
**I.3.2 Composition de BAPF** ..... 42
**I.3.3 Formulation de BAPF** ..... 42
**I.3.4 Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais** ..... 42
I.3.4.1 Essai d'étalement ..... 43
I.3.4.2 Essai de V-funnel ..... 44
I.3.4.3 Essai J-RING….. ..... 45
I.3.4.4 Résistance à l'écoulement ..... 46
**I.3.5 Orientation et distribution des fibres** ..... 46
**I.3.6 Utilisation des BAP fibres dans les structures** ..... 47
**I.3.7 Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés** ..... 47
I.3.7.1 Comportement à la flexion ..... 48
I.3.7.2 Comportement à la compression et à la traction ..... 49

**I.4 MATIERE DE VERRE ET PLASTIQUE** ..... 50
**I.4.1 Introduction** ..... 50
**I.4.2 Matière de verre** ..... 50
I.4.2.1 Introduction ..... 50
I.4.2.2 Historique ..... 51
I.4.2.3 Les propriétés du verres ..... 51
I.4.2.3.1 Propriétés physiques ..... 51
I.4.2.3.2 Propriétés thermiques ..... 52

I.4.2.3.3 Propriétés chimiques ..... 52
I.4.2.4 Les différents types de verre ..... 52
I.4.2.5 Domaine d'application du verre ..... 54
I.4.2.6 Le verre dans les bétons ..... 54
I.4.2.7 La couleur du verre utilisé ..... 55
I.4.2.8 Utilisation du verre en tant que sable ..... 55
**I.4.3 Matière plastique ..... 56**
I.4.3.1 Introduction ..... 56
I.4.3.2 Définition ..... 57
I.4.3.3 Familles de plastique ..... 57
I.4.3.3.1 Les élastomères ..... 57
I.4.3.3.2 Les thermodurcissables ..... 58
I.4.3.3.3 Les thermoplastiques ..... 58
I.4.3.4 Les déchets plastiques ..... 58
I.4.3.5 Le recyclage des plastiques ..... 59
**I.5 Conclusion** ..... 59

## ***CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS***

**II.1 Introduction ..... 61**
**II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés ……** 62
II.2.1 Ciment ……. ..... 62
II.2.2 Granulats ..... 63
II.2.2.1 Sable ..... 63
A. Analyse granulométrique ..... 63
B. Module de finesse ..... 64
C. Caractéristiques physiques du sable utilisé..... 65
II.2.2.2 Graviers ..... 66
A. Gravier 3/8 ..... 66
B. Gravier 8/15 ..... 67
II.2.3 Eau de gâchage ..... 69
II.2.4 Super plastifiant ..... 69
II.2.5 Fibres plastique ..... 69
II.2.6 Fibres de verre …… ..... 70
**II.3 La formulation du béton autoplaçant** ..... 70

**II.3.1a formulation du mortier** ..... 70
II.3.1.1 Rapport Eau/Ciment (E/C) ..... 71
II.3.1.2 Rapport Sable/Mortier (S/M) ..... 71
II.3.1.3 Variation du rapport Superplastifiant/Ciment (Sp/C) ..... 71
**II.3.2 Formulation du Béton** ..... 71
II.3.2.1 Fixation des rapports Sable/Mortier (S/M) et Eau/Ciment (E/C) ..... 72
II.3.2.2 Fixation du rapport Superplastifiant/Ciment (Sp/C) ..... 72
**II.4 Techniques expérimentales** ..... 74
II.4.1 Procédure de malaxage Pour le mortier ..... 74
II.4.2 Procédure de malaxage Pour le béton ..... 75
II.4.3 Essais sur mortier frais ..... 76
II.4.3.1 Essai d'étalement au Mini-Cône ..... 76
II.4.4 Essais sur béton frais ..... 76
II.4.2.1 Essais d'étalement et T50 ..... 76
A. Matériel nécessaire ..... 76
B. Mode opératoire ..... 77
II.4.4.2 Essai d'entonnoir en V (V-funnel) ..... 78
A. Matériel nécessaire ..... 78
B. Mode opératoire ..... 78
II.4.4.3 Essai de stabilité au tamis ..... 79
A. Matériel nécessaire ..... 79
B. Mode opératoire ..... 79
II.4.4.4 Essai de La Boîte En L (L-Box) ..... 80
II.4.5 Conservation des éprouvettes ..... 81
II.4.6 Essais sur béton durci ..... 82
II.4.6.1 Résistance à la compression ..... 82
II.4.6.2 Résistance à la traction par flexion ..... 82
II.4.6.3 Retrait ..... 83
A. Mesure du retrait sur éprouvettes de béton ..... 83
B. Objectif de l'essai ..... 83
C. Conduite de l'essai ..... 83
II.4.6.4 Gonflement ..... 84
A. Mesure des variations de longueur ..... 84

B. Mesure des variations de masse ..... 85
C. Expression des résultats ..... 85
**II.5 Conclusion** ..... 86

## ***CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS***

**III.1 INTRODUCTION**..... 88
**III.2 Essais relatifs au Mortier**..... 88
III.2.1 Essai d'étalement au Mini-Cône ..... 88
**III.3 Essais relatifs au Béton** ..... 90
**III.3.1 Béton frais**..... 90
III.3.1.1 Essais d'étalement au cône d'Abrams ..... 91
III.3.1.2 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)..... 93
III.3.1.3 Essai à la boite en L (L-Box test)..... 94
III.3.1.4 Stabilité au tamis ..... 95
**III.3.2 À l'état durci**..... 96
III.3.2.1 Résistance à la traction ..... 96
III.3.2.2 Résistance à la compression…… ..... 97
**III.4 CONCLUSION** ..... 98

**CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS**
**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**
**ANNEXES**

# NOTATIONS ET ABREVIATIONS

| | |
|---|---|
| **Ab** | Coefficient d'absorption |
| **Abs** | Coefficient d'absorption du sable |
| **AbG** | Coefficient d'absorption du gravier |
| **BO** | Bétons ordinaires |
| **BAN** | Béton autonivellant |
| **BAP** | Béton Autoplaçant |
| **BAPT** | Béton autoplaçant témoin sans fibres |
| **BAPF** | Béton Autoplaçant fibré |
| **BV** | Bétons vibrés |
| **BF** | Bétons de fibres |
| **MAP** | Mortier autoplaçant |
| **K** | Clinker |
| **S** | Laitier de haut fourneau |
| **Z** | Pouzzolane naturelle |
| **V** | Cendres volantes siliceuses |
| **W** | Cendres volantes calciques |
| **D** | Fumée de silice |
| **L** | Calcaire |
| **T** | Schistes calcinés |

**JSCE** Japanese Society of Civil Engineers

**CPA-CEM I 42,5 :** ciment Portland artificiel de classe une (1) et de résistance minimale à la compression à 28 jours égale à 42,5 MPa

**CPA-CEM II/A et B 42,5 :** ciment Portland artificiel de classe deux A ou deux B (2A ou 2B) et de résistance minimale à la compression à 28 jours égale à 42,5 MPa

**CPJ-CEM II/B 42,5 :** ciment Portland composé de classe deux B (2B) et de résistance minimale à la compression à 28 jours égale à 42,5 MPa

**Rcomp :** Résistance à la compression

**Rtrac :** Résistance à la traction

**Dmax** Diamètre maximal des grains

**Lf** Longueur de la fibre

**Df** Diamètre de la fibre

**Lf/Df** L'élancement

**C** Dosage en ciment

**E** Poids d'eau dans le matériau

**E/C** Eau/Ciment

**G** Gravier

**G/S** Gravier/Sable

**S/M** Sable/Mortier

**Sp** Superplastifiant

**ES** Equivalent de sable

# Introduction Général

# INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde. En fait, sa vitesse de fabrication, sa mise en place, son faible coût, ses propriétés mécaniques et sa durabilité contribuent à accroître son utilisation dans tous les projets, tels que les immeubles de bureaux ou résidentiels, les ponts et les centrales électriques. Nucléaire ...

La difficulté de la mise en place accompagnée de blocage de béton, dans des zones fortement ferraillées ou étroites Cela a incité les chercheurs à trouver une solution à ce problème, qui est le béton autoplacant.

L'idée de produire du béton autoplacant a été proposée pour la première fois au Japon à la fin des années 80.

Comme son nom l'indique, est un béton qui se met en place sans aucune vibration même dans des endroits très encombrés par les armatures et cela tout en préservant une bonne homogénéité jusqu'au durcissement.

Depuis, l'utilisation de cette gamme de béton a été répandue de plus en plus partout dans le monde.

En effet d'après son développement, le nombre d`ouvrages réalisés avec les bétons Autoplaçants ne cesse d`augmenter surtout au Japon où l'utilisation de ce nouveau matériau est répondue dans le domaine de la construction**.**

L'objectif d'obtenir un béton autoplacant plus résistant à la flexion et à la traction fait l'objet de nombreuses études. La méthode la plus couramment évoquée dans la littérature pour compenser cette faiblesse de traction est d'ajouter des fibres au béton.

Ce dernier joue un rôle de renfort et compense la fragilité du béton en cousant des microfissures et des macrofissures. Les fibres capables de contrôler les fissures agissent comme des absorbeurs d'énergie.

Basé sur la compréhension des caractéristiques BAP (grande maniabilité, bonne stabilité, haute résistance, économie, etc.) et des caractéristiques des fibres (haute ductilité, haute résistance à la traction, résistance au retrait et à la fissuration, à 1'impact, etc.) La caractéristique positive du nouveau-né de ce jumeau est le béton autoplacant fibre (BAPF), qui aura des caractéristiques uniques.

Deux types de fibre (plastique, verre) sont introduits dans le béton autoplaçant avec différente fraction volumique pour étudier l'effet de ces derniers sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçant.

Le mémoire est composé de trois chapitres :

**Le premier chapitre :** qui est une synthèse bibliographique Elle englobe la Définition des trios déférente type de béton (béton autoplaçant, béton fibre, béton autoplacant fibre), ses composants, leurs propriétés, les méthodes de formulation, les essais de caractérisation à l'état frais et à l'état durci et l'effet des fibres sur les propriétés mécaniques de béton et leur effet sur le comportement des BAP.

**Le deuxième chapitre :** est une revue de la méthodologie des essais, entre autre, c'est une présentation des essais qui sont réalisés dans laboratoire.

**Le troisième chapitre :** est une interprétation des résultats des essais qu'on a cités dans le chapitre précédent.

# *Chapitre I :*
# *SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE*

# I.1 LE BETON AUTOPLACANT :

## I.1.1 Introduction :

Un béton autoplaçant (BAP) est un béton très fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration, il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique. Les bétons autoplaçant se caractérisent en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportion bien précis pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité. Toutefois, L'utilisation de ces béton ne se répand que lentement à travers le monde, car leur formulation est inhabituelle et nécessite une le problème de la formulation des bétons c'est renouvelé en profondeur au cours des dernières décennies, principalement du fait de l'utilisation croissante et souvent conjointe des superplastifiant et des agents colloïdal d'une part et des additions minérales d'autre part**.[1]**

### I.1.2 Définition :

Le béton autoplaçant (dénommé aussi auto compactant) est défini comme suit dans l'Annexe nationale NA de la norme SN EN 206-1 :

Le béton frais est appelé autoplaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation.

Le BAP et le béton vibré se différencient par les propriétés du béton frais et le mode de mise en œuvre. **[2]**

### I.1.3 Historique :

Le BAP est l'une des plus grandes innovations de l'histoire du béton. Au début des années 80, la durabilité des structures en béton était un problème majeur au Japon. La réalisation d'une structure durable nécessite une consolidation complète par des travailleurs qualifiés. Malheureusement, le manque de travailleurs techniques qualifiés dans l'industrie de la construction japonaise a entraîné une baisse de la qualité de la construction. Par conséquent, la solution consiste à utiliser un béton qui se met en place de lui-même sous son propre poids sans vibration. Okamura a été le premier à exprimer ce besoin en 1986. **[3]**

### I.1.4 Particularité du BAP :

Les principes de formulation de bétons autoplaçants se distinguent des bétons ordinaires par le fait qu'ils présentent un volume de pâte (ciment + fines + eau + adjuvants) plus élevé, Ils sont caractérisés par une quantité de fines élevée et l'emploi d'adjuvants nommés : superplastifiants hauts réducteurs d'eau.

Une nouvelle vague d'adjuvants appelés : rétenteurs d'eau ou agents de viscosité entrant quelque fois dans leur formulation. Ces derniers assurent la viscosité de la pâte pour lui conférer des propriétés limitant la ségrégation.

A l'état frais, les BAP se distinguent des bétons ordinaires par le fait qu'ils s'écoulent sous leur poids propre avec un débit suffisant écartant les moyens de vibration.

Dans les zones confinées ou très ferraillées, tout en gardant une fluidité élevée et une bonne résistance à la ségrégation.

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats.

De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement.

Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage.**[4]**

### I.1.5 Les avantage des bétons autoplaçants :

Les BAP présentent de nombreux avantages :

- Mise en œuvre sans vibration ;
- Bétonnages plus rapides et optimisation de productivité sur chantier ;
- Coulage de murs verticaux de grande hauteur ;
- Bétonnage de formes complexes avec un excellent remplissage ;
- Plus grande fluidité pour un meilleur pompage ;
- Enrobage des armatures amélioré ;

- Optimisation de la qualité de parement ;
- Amélioration des conditions de travail sur le chantier ;
- Absence de nuisance sonore liée à la vibration. **[5]**

### I.1.6 Domaines d'utilisation des BAP

La technologie de bétonnage par BAP ne cesse d'augmenter dans nombreux domaines de la construction : constructions, renforcement et réparation d`ouvrages d`art (application de couches minces dans des endroits difficile d`accès), construction d`éléments préfabrication à haute résistance, moulage et mise au point de béton pour toute utilisation (béton coulés sous l`eau pour des réparations, béton confinés, pieux…). **[6]**

Le BAP est aussi une solution bien adaptée pour

- Tous types de dalles y compris dalles de compression sur poutrelles ;
- Radiers ;
- Plancher dalle pleine et plancher chauffant ;
- Rattrapage de niveau en rénovation ;
- Fondations superficielles ;
- Voiles, poteaux, poutres ;



**Figure I.1 :** Application du BAP dans les planchers dans la préfabrication Quelques exemples d'utilisation de BAP. **[7]**

L'utilisation des BAP s'inscrit dans l'intégralité des DTU et des normes NF EN 206-1. Les ouvrages en BAP obéissent aux mêmes règles de calcul de fissuration et de normes de parement que pour un béton classique notamment en cas de réponse à une exigence esthétique et/ou d'étanchéité. En effet, selon l'AFGC, les BAP sont classés selon trois catégories suivant leur domaine d'application. Le classement s'effectue selon leur intervalle

d'écoulement I (tenant compte de la géométrie du coffrage et de la disposition des armatures), le type d'application, et l'épaisseur de la structure dans le cas d'une application Horizontale. **[8]**

| Intervalle d'écoulement | Application horizontale | | Application verticale |
|---|---|---|---|
| | Epaisseur ≤ 300mm | Epaisseur ≥ 300 mm | |
| l ≥ 100 | 1 | 2 | 2 |
| 80 ≤ l ≤100 | 2 | 2 | 3 |
| l <80 | 3 | 3 | 3 |

**Tableau I.1 :** Classification des BAP selon leur application **[8]**

Les classes 2 et 3 contiennent deux sous-classes en fonction de la longueur maximale de cheminement horizontal du BAP : 5m pour les classes 2a et 3a, 10 m pour les classes 2b et 3b.

### I .1.7 Constituants d'un BAP :

#### I.1.7.1 Le ciment :

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, Obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées :

- Silicate tricalcique, ou C3S (3 CaO, SiO2),
- Silicate bicalcique, ou C2S (2 CaO, SiO2),
- Aluminate tricalcique, ou C3A (3 CaO, Al2O3),
- Aluminoferrite tricalcique ou C4AF (4CaO, Al2O3, Fe3O3),



**Figure I.2 :** ciment

Les matières premières essentielles sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et Éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et Est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile. **[9]**

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ...) ;
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes.

**Différents types de ciments :**

**Ciments naturels :**

Obtenus par cuisson de roches calcaires contenant 20 à 40 % d'argile.

Ils sont à prise rapide ou demi-lente et ne conduisent pas à des résistances finales élevées

Exemple : les ciments prompts.

**Ciments artificiels**

Ce sont les ciments portland.

Ce sont les liants les plus importants et les plus employés dans la construction actuelle :

Ils sont à prise lente et on distingue les catégories suivantes :

- **CPA :** Ciment Portland artificiel (97% clinker plus des fillers) ;
- **CPJ :** Ciment Portland composé (65% clinker plus des ajouts) ;
- **CHF :** Ciment de haute-fourneau (40% à 75% laitier plus du clinker) ;
- **CLK :** Ciment de laitier au clinker (80% laitier plus du clinker). **[9]**

### I.1.7.2 Granulats :



**Figure I.3 :** Gravier



**Figure I.4 :** Sable

En générale le béton est constitué de deux phases : une phase solide constituée du squelette granulaire (sable, gravier, cailloux) en principe inerte et une phase constituée d'une pâte liante, les grains qui constituent le squelette granulaire, C'est l'ensemble des grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm **[10]**

Par ailleurs, le dosage des granulats peut avoir une influence sur les propriétés d'ouvrabilité des bétons. Pour obtenir un béton autoplaçant, le volume du gravier et la taille maximale des granulats ont été réduits pour diminuer les frictions et éviter les blocages dans des zones confinées.

L'importance des gros granulats sur la fluidité des bétons autoplaçants a pu être mise en évidence de même qu'il est recommandé d'utiliser des granulats roulés. En effet, les granulats roulés permettent de diminuer le risque de ségrégation. Il est considéré que le

volume des gros granulats, dans le béton, est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération.

En effet ils ont constaté que plus la teneur en gros granulats augmente, plus la capacité de remplissage diminue, contrairement au rapport sable sur pâte qui lui n'influence pas sur le coefficient de remplissage. Le volume des gros granulats est donc limité et le rapport gravillon/sable est proche de 1. **[11]** Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats / sable exprimé en masse est de 1itre (L) dans un BAP.

Le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé augmente lorsque le Dmax augmente. **[12]**

Bethmont **[13]** a explicité que la taille maximale Dmax des granulats, étant un facteur non Négligeable, peut provoquer un blocage. Il apparaît que le risque de blocage, pour un Ferraillage donné, augmente lorsque le diamètre maximum des granulats augmente.

### I.1.7.3 L'eau :

Toute eau du réseau public d'eau potable convient à la fabrication de BAP.

Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines Conditions restrictives. En raison d'éventuels effets Indésirables sur les propriétés du béton. Etant donné que Le dosage en eau influence de manière considérable sur la viscosité et la capacité de remplissage du BAP, il est



**Figure I.5 :** l'eau de gâchage

Indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur Planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de Prendre en compte l'humidité des granulats et tout Spécialement du sable. Cas Échéant, on tiendra Également compte de la teneur en eau des adjuvants**. [14]**

### I.1.7.4 Additions minérales :

L'utilisation de pouzzolanes minérales pour la fabrication de mortiers et de bétons est connue depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes dénotent un grand nombre d'additions minérales d'origines diverses, mais qui présentent toutes le fait d'être fines et de réagir en présence d'eau et de chaux. Aujourd'hui, des quantités considérables de plusieurs types de ces ajouts continuent d'être utilisées.

Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

1. Les fillers calcaires
2. Les pouzzolanes naturelles
3. Le laitier de haut fourneau
4. La fumée de silice
5. Les cendres volantes. **[15]**

### I.1.7.5 Adjuvants chimiques :

Ce sont des produits chimiques organiques ou inorganiques qui, lorsqu'ils sont incorporés dans le béton, ont des dosages précis du poids du ciment et selon leur plage d'utilisation indiquée par le fournisseur. Leur introduction dans le mélange génère des phénomènes physico-chimiques très complexes et ils visent à améliorer les propriétés des bétons à l'état frais ou à l'état durci. **[1]**

### I.1.7.6 Les superplastifiants :

Les superplastifiants sont des adjuvants hauts réducteurs d'eau qui réduisent fortement
Les quantités d'eau nécessaires pour une consistance de béton souhaitée à l'état frais.
Ils permettent d'augmenter les résistances initiales du béton via la réduction d'eau mais également la maniabilité et la pompabilité à la mise en œuvre. Ils favorisent la production de bétons fluides de types S4-S5, béton Auto-Plaçant (BAP), béton Auto-Nivelant (BAN), les bétons à Haute Performance (BHP) et bétons à très Haute Performance (BTHP). **[16]** Selon certains auteurs, la quantité de super plastifiant adsorbé dépend :

- Du type de ciment étudié.
- De la finesse des particules plus les particules de ciment sont petites, plus la quantité de polymère adsorbé est grande.
- Des rapports $C_3S/C_2S$ et $C_3A/C_4AF$ : plus ces rapports sont grands, plus la quantité de polymère adsorbé est élevée.

### I.1.7.7 Les agents colloïdaux :

L'ajout d'un superplastifiant dans un béton augmente son ouvrabilité mais réduit sa viscosité.

En conséquence, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage. L'utilisation d'agents de viscosité a pour but de stabiliser le béton en fixant l'eau dans le mélange, ce qui réduit le phénomène de ressuage et donne une plus grande cohésion au béton.

En d'autres termes, les agents de viscosité ont un rôle très important dans le maintien de la stabilité des mélanges de ciment. Ils assurent la cohésion entre les différentes phases d'un mélange, augmentant ainsi la résistance à la ségrégation des mélanges, et empêchent la libre circulation de l'eau, réduisant le ressuage. **[17]**

Ces produits sont à la base de longues molécules de polymère (polysaccharides) ou de dérivés cellulosiques. Ils sont généralement sous forme de poudre. La valeur de leur utilisation est parfois discutée du point de vue de leurs conséquences sur la rhéologie.
Cependant, il est démontré **[18]** qu'ils permettent, dans le cadre de la production industriel, pour réduire la sensibilité du béton autoplaçant aux variations de la teneur en eau.
En général, pour une ouvrabilité donnée, la quantité de superplastifiant croit avec celle de L'agent de viscosité.
Un dosage trop important en agent de viscosité empêche la pâte de se déformer et entraine Une perte de fluidité, il peut conduire aussi à un entraînement d'air excessif. Les agents de viscosité permettent un maintien de la fluidité et de la capacité de remplissage au cours du

Temps estimé à environ une heure. **[19]**

### I.1.8 Formulation des BAP

Depuis l'invention du BAP, aucune méthode de formulation pratique n'a été établie. Les différentes propriétés recherchées rendent la formulation du BAP relativement compliquée.
De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un BAP. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales. **[20]**

#### I.1.8.1 Approche japonaise

La formulation des BAP par l'approche japonaise développée à l'université de Kochi se fait en privilégiant le volume de la pâte au détriment des granulats.
- Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé si le volume des gravillons (dans 1m3) est limité à la moitié de sa compacité. Par définition la compacité

d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. La compacité des gravillons est en générale égale à 0,57.

- le volume du sable est posé à 40% du volume du mortier, lorsque les frictions granulaires sont réduites la fluidité du béton est assurée.
- les dosages en liant et en superplastifiant ne sont pas précisés par cette méthodes ils sont choisis sur des critères de résistance.
- les dosages d'eau et du superplastifiant sont déterminés en effectuant des essais sur un mortier dosé à 40% en sable. **[20] [19]**

### I.1.8.2 Formulation CBI modifiée

La principale modification et extension de la méthode CBI est apportée par Bui et al **[21]** qui ont proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

Leur méthode consiste à calculer l'épaisseur moyenne de la pâte autour des granulats du béton autoplaçant, grâce à une base de données importante de formulations de bétons **[22]** L'espacement moyen entre les particules varie selon les auteurs entre 0,3 et 1 mm.

### I.1.8.3 Formulation LCPC (France) :

L'approche développée en France au LCPC par Sedran et De Larrard **[23]** est basée sur le modèle d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. Un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité.

Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques des constituants telles que la densité apparente, les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire.

Cette approche, basée sur la synthèse d'une quinzaine d'années de recherches, est simplifiée par la mise en œuvre d'un logiciel (Béton lab pro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche **[24] [21]**. et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour

démoulage immédiat, bétons autoplaçants).Pour un béton autoplaçant, les grandeurs exigées à l'état frais sont :

- Un étalement au cône d'Abrams supérieur à 600 mm
- Un seuil de cisaillement inférieur à 500 Pa
- Une viscosité plastique comprise entre 100 et 200 Pas (grandeurs rhéologiques mesurées au BTHREOM).

Ces critères correspondent selon les auteurs à un béton assez fluide et qui ne présente pas déségrégation. Une proportion de liant (ciment + addition) est fixée à priori, pour laquelle on détermine le dosage à saturation du superplastifiant utilisé. Selon l'expérience des auteurs, le dosage de saturation pourrait conférer au béton une viscosité élevée, par conséquent la moitié de ce dosage serait plus pertinente.

Le besoin en eau du liant en présence du superplastifiant est déterminé, et conduit au calcul de la compacité propre du liant, qui est une donnée d'entrée nécessaire. Grâce au logiciel, les dosages des constituants sont déterminés, en prenant en compte tous les paramètres de calcul, et de l'effet de paroi. Le dosage du superplastifiant peut être ajusté pour obtenir les critères d'ouvrabilité désirés, celui de l'eau pour obtenir la résistance à la compression ciblée.

### I.1.8.4 Formulation JSCE

La méthode proposée par la Société japonaise des ingénieurs civils (JSCE) en 1998 est basée sur la recherche et l'application pratique. Dans cette formulation, la quantité d'eau, le rapport eau / poudre et la teneur en poudre varient selon que l'on utilise un agent cohésif. Les points principaux de cette formulation sont : **[25]**

- Le volume absolu des gros agrégats varie en fonction de l'autocompactibilité désirée. Il est situé entre 0.30 et 0.32 m3/m3 et le diamètre maximum est limité à 20, voire 25mm.
- Quand un agent de viscosité est utilisé, la quantité d'eau se situe idéalement sous les 180 kg/$m^3$ dans les conditions d'exposition normales. Si la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, et uniquement dans ce cas, il peut être utilisé jusqu'à 190 kg d'eau par $m^3$. En absence d'agents de viscosité, la quantité d'eau doit être située entre 155 et 175 kg/$m^3$.
- Les rapports eau/poudres et eau/liant sont basés sur les performances du béton à l'état durci. Si la fluidité n'est pas atteinte, on peut utiliser davantage de liant. Sans agent de

viscosité, le rapport eau/poudres se situe entre 28 et 37% en masse et entre 85 et 115% en volume.

- La quantité d'air dépend du diamètre maximum du gros granulat, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4.5%d'air.
- La quantité de liant et de poudre est déduite du rapport précédent. En utilisant un agent de viscosité de type polysaccharide, la poudre représente généralement 0,13 m3 / m3. Dans les autres cas, la valeur standard doit être déterminée entre 0,16 et 0,19 m3 / m3.

- La quantité de fins agrégats se déduit des quantités précédentes (gros agrégats, poudres, eau et air).

- Évaluer la dose superplastifiant et d'agent de viscosité en fonction de l'expérience. Cependant, la quantité de superplastifiant dépend du rapport eau / poudre et de la nature de la poudre. Pour une nouvelle génération de superplastifiants, la quantité d'extraction par mètre cube d'extrait est généralement comprise entre 1 et 2 kg, ce qui équivaut à 3 à 6 litres pour une solution aqueuse à 35%.

- Le dosage en agent de viscosité est très variable selon la nature de l'agent et le type de béton (avec ou sans ajout de fines) : de 0.15 à 0.30% de la quantité d'eau pour les agents cellulosiques, de 3 à5% pour les acryliques, de 2 à 3% pour les glycols, de l'ordre de 0.05% pour les polysaccharides solubles.

### I.1.9 CARACTERISATION D'UN BAP :

#### I.1.9.1 Etat Frais :

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les principales propriétés recherchées sur béton frais sont l'autocompaction, la fluidité, la viscosité et la stabilité envers la ségrégation. La formulation du BAP repose sur les mêmes bases technologiques que celles d'un béton vibré.

Dans le cas du béton vibrant, les vides entre les granulats sont remplis d'une pâte de ciment composée de ciment, d'additifs et d'eau afin d'obtenir du béton de la qualité requise (ouvrabilité et compacité). D'autre part, dans le cas de l'utilisation de BAP, la pâte de ciment doit non seulement remplir les vides entre les particules, mais également fournir un volume supplémentaire d'environ 65 à 100 l / m3.

Dans le cas d'un mélange constitué exclusivement de granulats concassés, cette valeur peut même s'élever jusqu'à 100 à 120 l/m$^3$. Cet excédent constitue une condition indispensable aux propriétés de fluidité exceptionnelles des BAP. Étant donné que le volume des vides du mélange varie en fonction de la nature et de la provenance des granulats, ceci peut entraîner des adaptations et modifications de la composition d'un BAP dans chaque cas particulier**. [26]**

Les guides Européens pour le BAP **[27]**, répartissent les BAP à l'état frais en quatre (04) propriétés essentielles suivantes, et propose des essais à réaliser pour chacune d'elles :

- La Capacité au Remplissage ;
- La Capacité de Passage ;
- La Résistance à la Ségrégation ;
- Rhéologie.

**I.1.9.1.1 Capacité au remplissage :**

La capacité de remplissage du béton est définie comme la capacité du béton à changer de forme sous l'influence de son propre poids. **[28],** même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement. Cette capacité au remplissage peut être déterminée à l'aide de l'essai d'étalement (Tableau I.2).

| Propriété | Essais à réaliser |
|---|---|
| Capacité au Remplissage | ▪ Etalement au Cône d'Abrams (Slump-Flow)<br>▪ Temps à $T_{50}$ au cône d'Abrams ($T_{50}$ Slump-Flow)<br>▪ Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel)<br>▪ Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test)<br>▪ Etalement au Tube Orimet (Orimet)<br>▪ Essai du caisson (Fill Box) |

**Tableau I.2** Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage

#### I.1.9.1.2 Capacité de passage :

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il est nécessaire de considérer, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat.

La dimension à définir est l'espacement entre les barres d'acier, qui doit permettre l'écoulement normal du béton Il n'est pas nécessaire de tenir compte de la distance entre l'armature et le coffrage car le béton peut contourner l'armature et il n'est pas nécessaire de s'étaler continuellement à travers cet espace. La capacité peut être déterminée en mesurant la valeur H2 / H1 en utilisant la résistance de L-Box.

#### I.1.9.1.3 Résistance à la ségrégation :

La résistance à la ségrégation est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton autoplaçant. Le BAP souffre de ségrégation pendant la mise en place et après le durcissement. La ségrégation qui se produit après la mise en place est la plus désavantageuse, en particulier pour les éléments longs, même pour les éléments plus minces tels que les dalles, ce qui peut entraîner une dégradation de la surface, comme la fissuration.

Dans le cas de classe élevée de fluidité ou de faibles viscosités, ou lorsque les conditions de mise en place encouragent la ségrégation, la résistance à la ségrégation devient un paramètre important. Si aucune de ces situations ne se produit, il n'est généralement pas nécessaire de spécifier la classe de la résistance à la ségrégation. L'essai de la résistance à la ségrégation de BAP est un test sur tamis de 5 mm.

#### I.1.9.1.4 Rhéologie des BAP :

La rhéologie est une branche de la mécanique des fluides qui étudie l'écoulement des matériaux et l'interaction entre les états de sollicitations (contraintes) et les déformations, en fonction de leurs caractéristiques de viscosité, d'élasticité et de plasticité.

Comme certains matériaux ne répondent pas exactement à la théorie de l'élasticité et de la mécanique des fluides, le vocable « rhéologie » a été inventée par des physiciens spécialistes de l'étude des matériaux dirigés par E.C**. [27]**

Entre le solide parfait et le liquide parfait newtonien, il est apparu nécessaire d'élaborer cette discipline nouvelle. L'intérêt de la rhéologie grandit chaque jour depuis son apparition en 1928 **[29]** avec l'apparition de nouvelles substances au comportement complexe tel que : pâtes, boues, suspensions, émulsions, polymères, etc. Pour le cas du béton, on s'intéressera à l'étude de l'écoulement du béton alors qu'il est encore à l'état frais et maniable.

### I.1.9.2 Essais sur béton frais :

Afin de mieux caractériser le comportement du BAP et de vérifier son utilisation, de nombreux tests empiriques simples ont été développés. À l'heure actuelle, il existe presque autant de tests ou de versions de test que l'équipe de recherche étudie.

#### I.1.9.2.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow) :

Il s'agit du test le plus courant pour évaluer la fluidité du béton car il est très simple à réaliser sur site. Le test nécessite un cône Abrams et une plaque métallique avec une échelle de 50 cm. (Figure I.6).

L'essai consiste à mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône, ainsi que le temps au passage à un diamètre de 50 cm. Le diamètre de la galette de béton est le paramètre qui caractérise la fluidité, plus il est grand plus le béton est fluide (capacité de remplissage élevée). L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50 cm et 80 cm en fonction de l'utilisation du béton **[30]** Cet essai permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette, accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50 cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Cette mesure, le T50, est une valeur qualitative. En général, des valeurs élevées de T50 traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Toutefois, le T50 est une valeur difficile à mesurer, surtout pour le cas des bétons très fluides ; lancer et arrêter le chronomètre au moment où le cône est levé et où le béton passe au diamètre de 50 cm est une estimation subjective. En général un temps de 2 à 5 s est acceptable pour obtenir un BAP. **[30]**

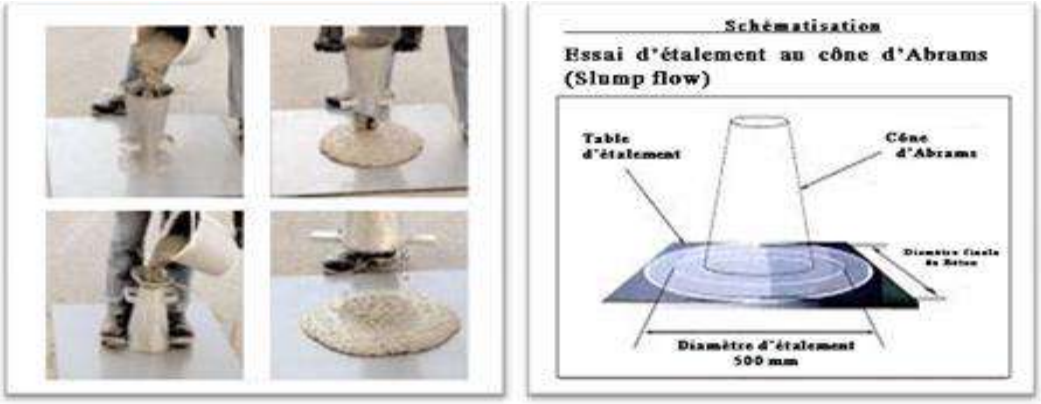



**Figure I.6:** Essai d'étalement (Slump flow)

### I.1.9.2.2 Essai de la couronne J (J-Ring)

L'essai du J-Ring (Japanese Ring) consiste à associer un anneau d'armatures à l'essai de l'étalement au cône d'Abrams. L'anneau d'armatures et le cône d'Abrams (Figure I.7) sont centrés avant de relever le cône et d'observer l'étalement du béton à travers les armatures.

Les dimensions de l'anneau, des armatures et les espacements entre les armatures sont différentes selon les auteurs et les pays. Nous citons quelques dimensions rapportées par : **[30]**

- Les diamètres des armatures et les espacements entre armatures peuvent varier respectivement dans les plages 10-16 mm et 34-48 mm.
- Le diamètre de l'anneau varie entre 23.5 et 30 cm.

Le test J-Ring permet d'évaluer la différence entre le comportement du béton sans et avec obstacles. Ainsi, l'essai de l'étalement au cône d'Abrams doit être effectué deux fois, la deuxième fois en utilisant l'anneau d'armatures.

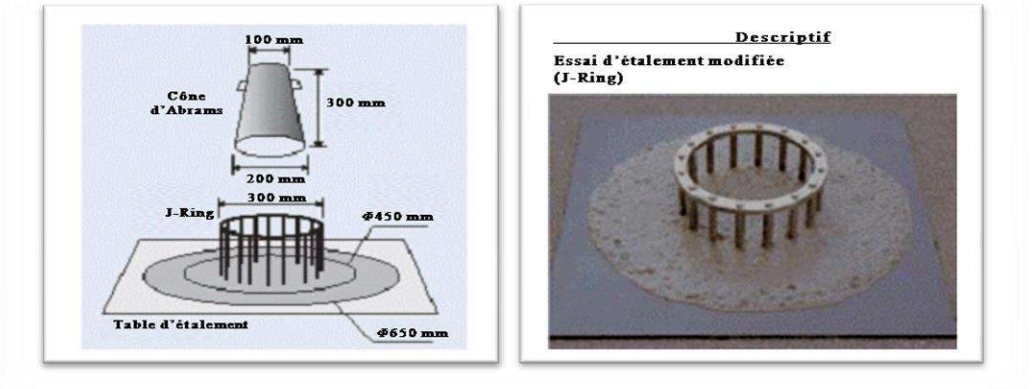



**Figure I.7:** Essai J-Ring

### I.1.9.2.3 Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

Cet essai permet une évaluation qualitative du béton autoplaçant : il caractérise la capacité de passage du béton à travers un orifice. L'entonnoir existe en forme de V : V-Funnel) montré dans la (Figure I.8), ou parfois un entonnoir à section circulaire (O-Funnel).

Le V-funnel est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. Le plus souvent, la partie inférieure de l'entonnoir est rectangulaire de dimensions 7,5 cm x 6,5 cm. Elle est équipée d'une trappe.

L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit le jour par l'orifice. Le béton autoplaçant doit s'écouler avec une vitesse constante ; un simple changement de vitesse de l'écoulement est un signe de blocage, donc de ségrégation dans le béton.

Cet essai permet aussi d'évaluer la viscosité du béton lors de l'écoulement : pour des bétons de même étalement au cône d'Abrams par exemple, la viscosité est d'autant plus élevée que la durée de l'écoulement à l'entonnoir est longue.

Le temps d'écoulement du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes. Quelques recommandations visent un temps compris entre 5 et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante.

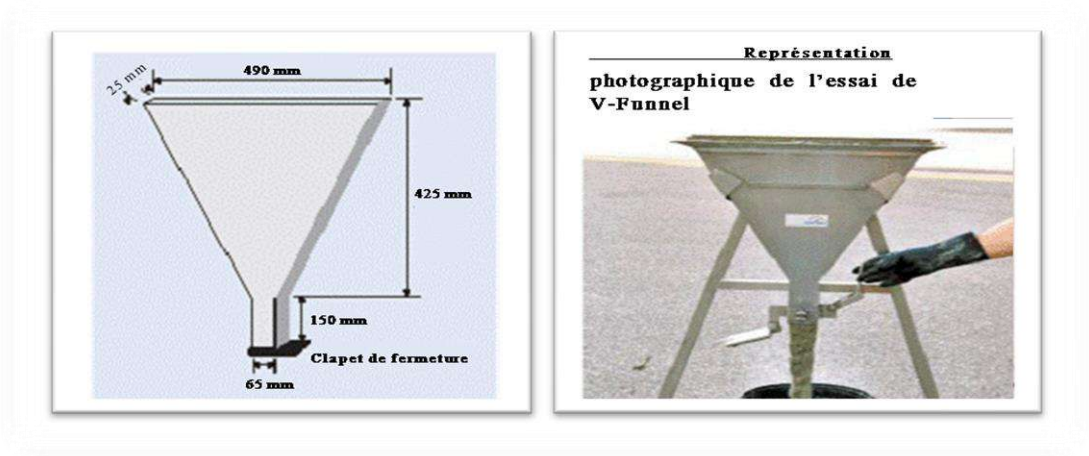



**Figure I.8:** Essai d'entonnoir (V- Funnel)

### I.1.9.2.4 Essai de la boite en L (L-Box)

Cet essai permet de tester l'écoulement du béton à travers des armatures (capacité de passage), de mesurer le taux de remplissage et le temps d'écoulement du béton.

L'appareillage représenté par la (Figure I.9) consiste à laisser passer le béton du compartiment vertical au compartiment horizontal à travers l'espace entre armatures. Il existe des appareillages de différentes dimensions, ainsi que des armatures de différentes tailles et espacements, la figure suivante représente une boite en L dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Une hauteur totale de 60 cm
- Une longueur de 70 cm
- Une largeur de 20 cm

Un béton autoplaçant possède un taux de remplissage H1/H2 supérieur ou égal à 0.8 **[31]** Un blocage quelconque du béton durant le passage à travers les armatures traduit le phénomène de ségrégation.

La vitesse d'écoulement peut être évaluée en mesurant le temps de passage du béton à la ligne des 20 cm et à celle des 40 cm. Les temps de passages sont respectivement notés T20 et T40. Certains auteurs recommandent des valeurs inférieures à 1.5 secondes pour T20 et inférieures à 3.5 secondes pour T40 afin de rester dans un domaine autoplaçant.

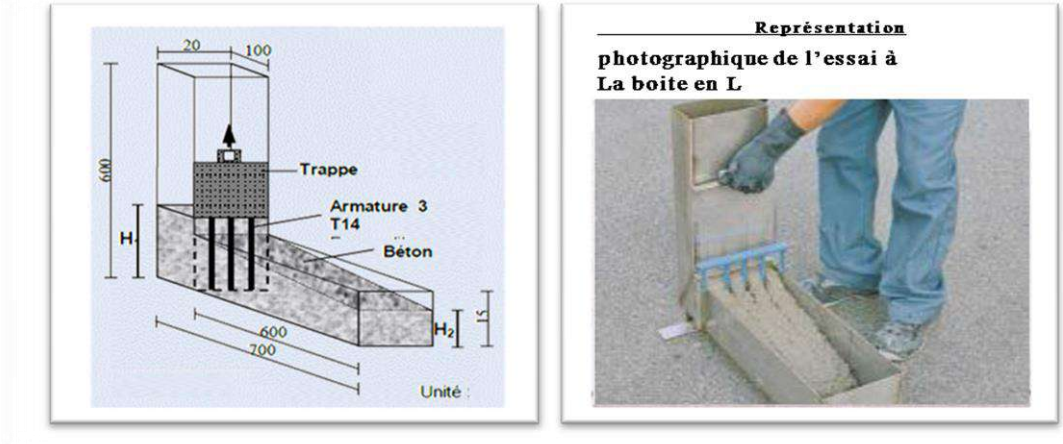



**Figure I.9:** Essai de la boite en L (L-Box)

### I.1.9.2.5 Essai de la boite en U (U-Box) :

De principe identique à l'essai de l'écoulement à la boite en L, l'essai du tube en U permet de tester la capacité de passage du béton à travers des armatures, et le taux de remplissage du béton. Le dispositif d'essai (Figure I.10) est composé de deux compartiments $R_1$ et $R_2$, séparés par une grille d'armatures et une trappe coulissante.

Différentes dimensions et espacements existent pour les armatures entre les deux compartiments (variation selon les types de chantier, et les spécifications des différents pays).

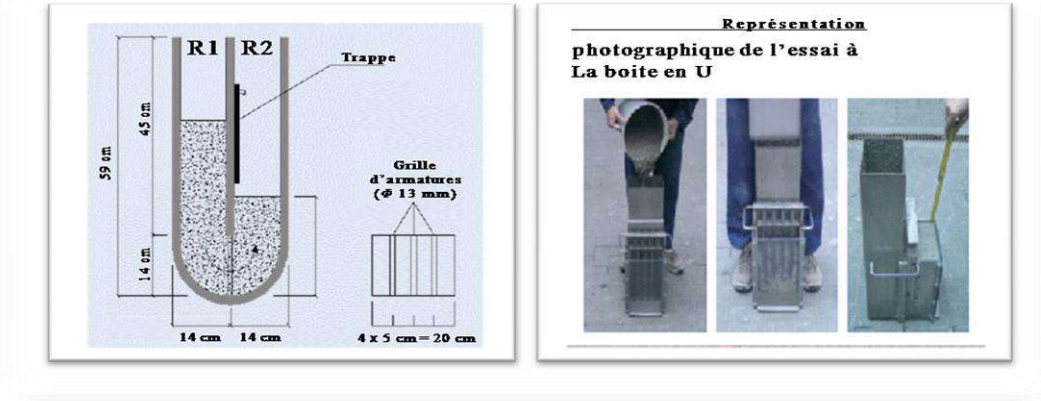



**Figure I.10:** Essai du tube en U (U-Box)

### I.1.9.2.6 Essai de stabilité au tamis :

L'essai de stabilité au tamis permet de qualifier le BAP vis-à-vis du risque de ségrégation. Cet essai nécessite un seau de 10 litres avec couvercle, un tamis de 5 mm de maille, de diamètre 315 mm et un fond (Figure I.11). Le test consiste à remplir le seau de 10 litres, laisser le béton couvert et au repos pendant 15 minutes.

Un échantillon de ce béton (4,8 kg ± 0,2 kg) et versé à travers le tamis de 5 mm posé sur le fond, et laissé deux minutes, avant de peser la masse de la laitance traversant le **[31]** Le pourcentage (P) de la laitance traversant le tamis par rapport à la masse de l'échantillon est donc calculé [AFG00] :

$$P = \frac{\text{Masse de la laitance}}{\text{Masse de l'échantillon}} \times 100$$

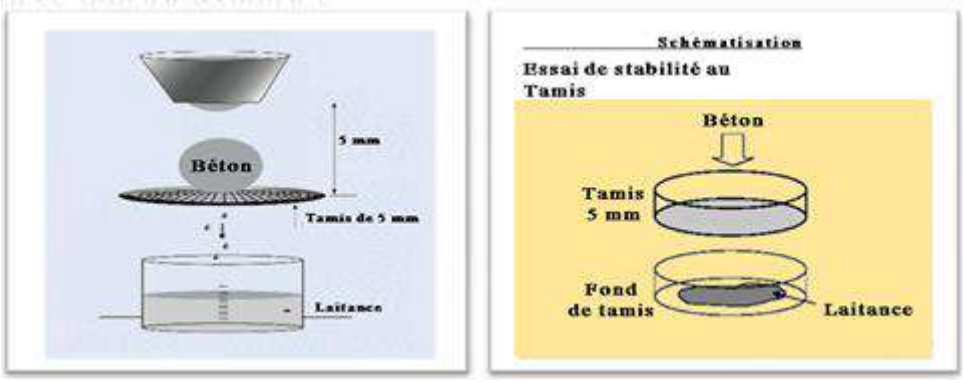



**Figure I.11:** Essai de stabilité au tamis

La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formulations de béton autoplaçant de la façon suivante (Tableau I.3) **[31]**

| Conditions | Critères de stabilité | Remarques |
|---|---|---|
| 0% P 15% | Stabilité satisfaisante | Béton homogène et stable |
| 0% P 15% | Stabilité critique | Vérifier les autres critères d'ouvrabilité |
| 0% P 15% | Stabilité très mauvaise | Ségrégation systématique, béton inutilisable |

**Tableau I.3** : Critères de stabilité

### I.1.9.3 Etat Durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois (voire des années), les propriétés mécaniques recherchées sont :

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité ;
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci ;
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton ;
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

### I.1.9.3.1 Résistance à la compression :

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques **[32]** L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges.

Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense.

Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite.

Zhu et Gibbs ont montré que la résistance de BAP utilisant la poudre de pierre à chaux augmente de 50 à 80% de celle de référence à 7j et de 20 à 40% à 28j, ils ont expliqués cette augmentation par la poudre à pierre à chaux accélère l'hydratation de ciment et augmente la résistance aux jeunes âges.

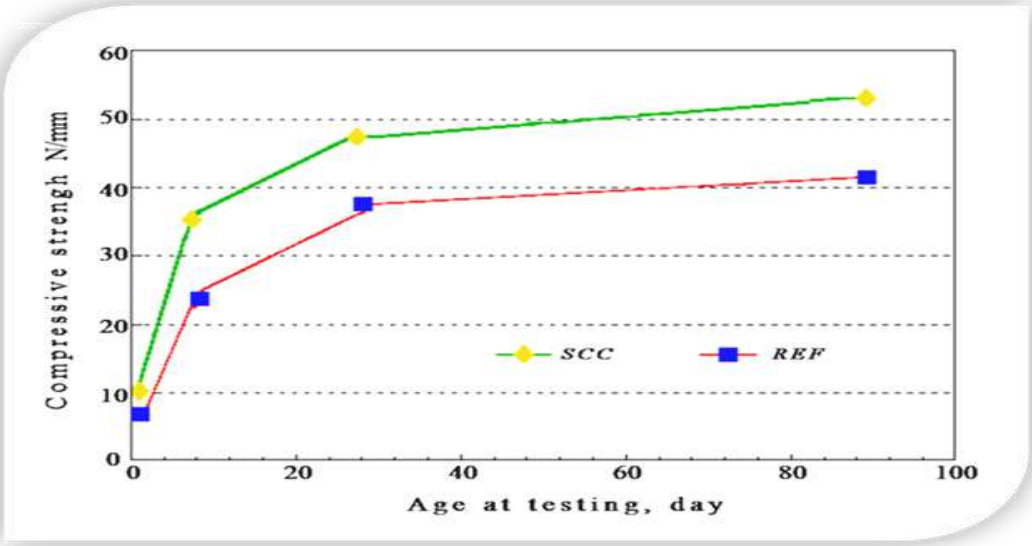



**Figure I.12:** Evolution de la résistance mécanique
D'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)

Ainsi, l'introduction Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges. **[33]**

#### I.1.9.3.2 Résistance à la traction par flexion

Gibbs ont constatés qu'il n'y aucune différence entre la résistance à la traction des BAP et celle des bétons référence. Par contre, d'autres auteurs ont montrés que la résistance à la traction est plus grande que la résistance des bétons références.

En comparant des mélanges de BAP ont le même E/C on trouve que le type et la finesse de poudre affecte peu la résistance en traction. **[32]**

#### I.1.9.3.3 Module de Déformation Longitudinal

Comme la grande masse du volume de béton est représentée par les agrégats, le type et la quantité de ces derniers ainsi que les modules d'élasticité ont la plus grande influence sur le module d'élasticité du béton. En choisissant des agrégats ayant un module élevé augmentera le module d'élasticité du béton.

Par contre, un béton ayant un grand volume de pâte pourrait affaiblir la valeur du module d'élasticité du béton. Parce que les bétons autoplaçants ont un grand volume de pâte, leurs modules d'élasticités peuvent être, en quelque sorte, plus faibles que ceux des bétons ordinaires.

Assié et al **[34]** ont trouvé que, d'une part et malgré qu'avec un rapport E/C élevé, les BAP présentaient une meilleure résistance à la compression que les bétons ordinaires, d'autre part la quantité plus élevée de pâte dans les BAP a généré une réduction dans le module d'élasticité par rapport au béton ordinaire.

Nassif et al **[35]** avait trouvé que le module d'élasticité, le fluage et le retrait du BAP ne diffèrent pas significativement de celles du béton ordinaire quand la résistance est constante.

Felekoglu et al **[36]** ont montré que les mélanges de BAP ont des modules d'élasticité faibles comparés à ceux du béton traditionnel. En général cette tendance peut être attribuée à la faible quantité de gros granulats et la grande quantité de la pâte.

#### I.1.9.3.4 Le retrait :

Entre la fabrication et le début de prise, le béton ne présente pas de cohésion et se trouve en phase dite plastique. Pendant cette période, le béton subit une contraction de volume appelée premier retrait ou retrait plastique. Celui-ci est le résultat de plusieurs phénomènes chimiques ou physiques qui ont lieu dans un matériau en perpétuelle évolution.

La prise constitue la transition entre le moment où le béton ne présente pas de cohésion et celui où il commence à devenir résistant. Avant la prise, les déformations libres du béton sont dues à la gravité, aux réactions d'hydratation et aux échanges thermiques avec le milieu extérieur.

Juste après le coulage, le béton est un mélange de particules solides, d'eau et d'air en suspension. Etant donné les différences de masse volumique, les grains de ciment et les granulats ont tendance à ségréger et contraignent l'eau et les bulles d'air à percoler vers la surface.

Ce phénomène, appelé ressuage, engendre une couche d'eau superficielle et un tassement de la matrice cimentaire (Figure I.13).

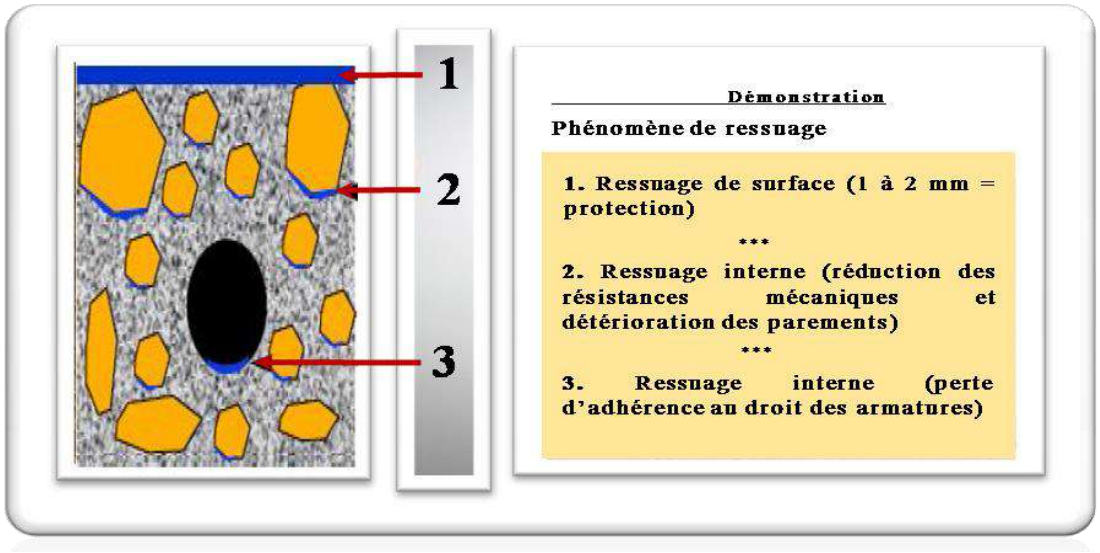



**Figure I.13:** Phénomène de ressuage.

### I.1.9.3.5 Le Retrait Thermique (plastique) :

Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré Turcry P. **[36]** et Gram et Piiparinen **[37]** ont observé des retraits plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires (Figure I.14).

Pour Turcry **[38]** l'amplitude maximale du retrait plastique des BAP est environ cinq fois supérieure à celle des bétons ordinaires.

Ces différences semblent pouvoir s'expliquer par deux paramètres de formulation qui changent d'un type de béton à l'autre : un rapport (E/F) plus faible pour les BAP et un dosage en superplastifiant des BAP plus fort qui retarde leur prise.

Par conséquent, pour minimiser ce retrait plastique, il est préférable de choisir une addition dont la demande en eau est faible afin de limiter le dosage en superplastifiant. Selon Song **[31]** le laitier rempli bien cette condition.

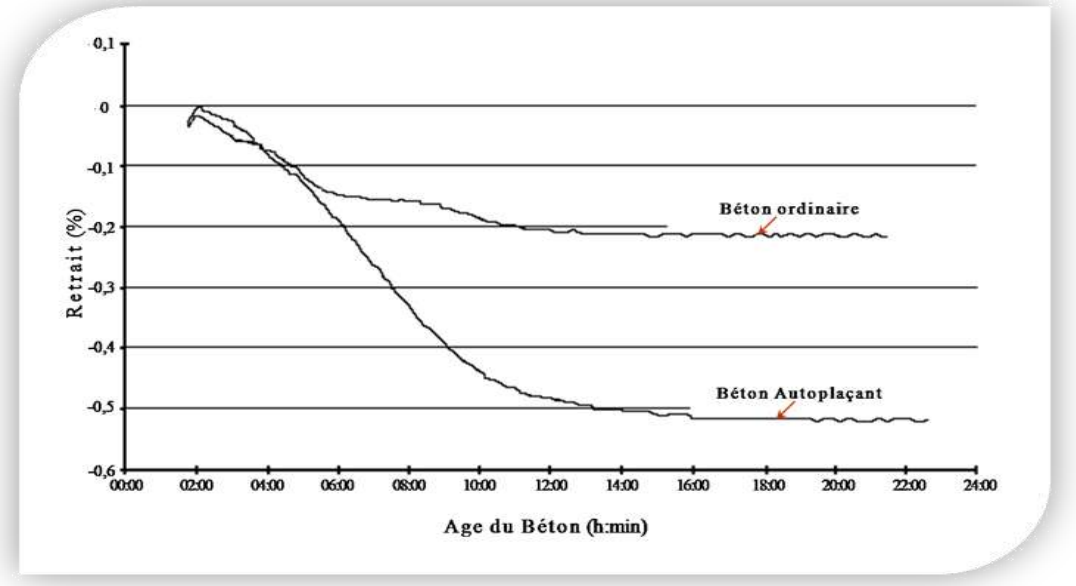



**Figure I.14:** Retrait plastique de BAP et de béton vibré de structure (T=20°C, 50% HR).

### I.1.9.3.6 Le Retrait Endogène ou d'Autodessiccation :

L'hydratation du ciment s'accompagne d'une diminution de volume. Après la prise, l'hydratation se poursuit. Le retrait endogène est la conséquence macroscopique de la contraction.

### I.1.9.3.7 Le Retrait de Séchage ou de Dessiccation :

Est la déformation volumique créée par le séchage à la surface du béton. Le moteur de la dessiccation est un déséquilibre hydrique après la prise, l'humidité relative est plus élevée au sein du béton que dans l'air ambiant T. **[39]**

### I.1.9.3.8 Fluage :

Le fluage peut être défini comme une augmentation de la déformation sous une contrainte constante. Comme cette augmentation de la déformation peut être plusieurs fois supérieure à

la déformation sous l'application d'une charge, la prise en compte du fluage est d'une importance considérable lors de calcul des structures de bétons. Le phénomène de fluage dépend de la distribution des efforts au sein de la structure et aussi de type de matrice de ciment.

Proust trouve des valeurs de même ordre de grandeur de BAP et pour BV. Ces résultats sont confirmés par Turcry, où il indique qu'en compression, le fluage total du BAP est identique à celui de BV. **[40]**

## I.2 BÉTONS DE FIBRES

### I.2.1 Définition

Ce sont des bétons dans lesquels ont été incorporées des fibres de nature, dimension et géométrie diverses, dans le but de leur conférer certaines propriétés. De façon générale, ces bétons présentent :

• Une meilleure résistance à la traction ;

•Une amélioration des résistances mécaniques (jeune âge, chocs, cisaillement, usure, abrasion...) ;

• Une bonne maîtrise de la fissuration ;

• Une amélioration en matière de plasticité, de moulage et d'aspect de surface. **[41]**

### I.2.2 Quelques fibres dans le béton

#### I.2.2.1 Les fibres métalliques

La fibre métallique est parmi les fibres les plus commercialisées vendues, et bien sûr disponibles sous des formes et dimensions les plus variées (fig.I.15).

Ces fibres présentent un module d'élasticité de 210 (GPa), une masse volumique de 7.85 t/m³ et une résistance à la traction de 1 à 2 (GPa). Elles existent sous diverses formes et longueurs. L'élancement est souvent compris entre 30 et 150 pour une longueur allant de 6.4 à 76 mm. Le pourcentage volumique de fibres métalliques dans le béton varie de 0.3 à 3%. L'optimisation du pourcentage de fibres, de la longueur et de la forme a donné lieu à de nombreuses études. **[42]**

Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les uns des autres par :

- Leurs diamètres ;
- leur section (ronde, carrée, rectangulaire ...) ;
- leur longueur et leur mode d'élaboration ;
- Elles peuvent être rectilignes, ondulées ou présenter des élargissements aux extrémités, soit des coudes ou des crochets pour améliorer l'adhérence.

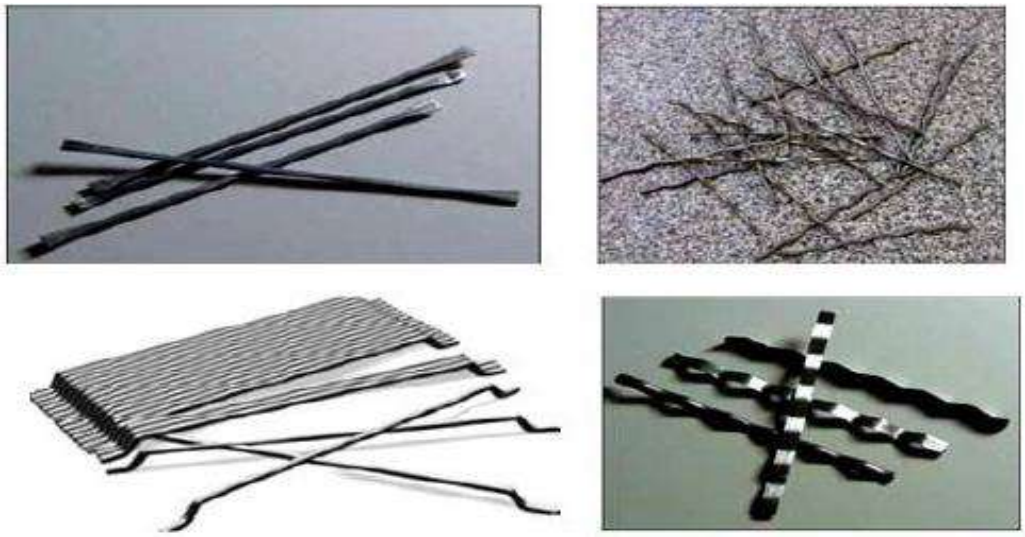


**Figure I.15:** Quelques formes de fibres d'acier

Il a été souligné que les fibres d'acier :

- Augmentent considérablement la résistance à la traction du matériau, sa ténacité où encore sa capacité d'absorption d'énergie ;
- Elles réduisent en même temps la fissuration malgré le sur poids lié à leur masse volumique élevée.

Comme il existe d'autres types de fibres métalliques mais ne sont pas largement utilisées. Citons par exemple ; les fibres d'inox, les fibres de fontes, …etc.

### I.2.2.2 Les fibres minérales

### A. Les fibres de carbone

Les fibres de carbone forment une grande variété, elles sont élaborées à partir d'un polymère de base appelé précurseur (fibres orientées et réticulées). Suivant l'origine de ce dernier, on distingue les fibres de carbone élaborées à partir de :

**a) Fibres acrylique :**

Connu sous divers noms commerciaux (crylor, courtelle, dralon,…).

**b) Précurseur brai :**

Résidu de raffinerie issu du pétrole ou de la houille **[43]** Leurs inconvénients majeurs résident dans leurs fragilités et leurs coûts élevés. Toutefois, les fibres de carbone noyées dans la matrice cimentaire sont inertes et confèrent au composite d'excellentes propriétés (facilité de finition, bonne résistance thermique et mécanique, …), de plus l'un des grands avantages des fibres de carbone est leur faible dimension. Qui offre la possibilité de fabriquer des composites ayant une haute teneur en fibres**. [44]** Les caractéristiques des fibres de carbone sont résumées dans le tableau (I.4).

Caractéristiques des fibres de carbone sont résumées dans le tableau (I.4).

| Caracteristiques | Carbone HR | Carbone HM | Carbone THM | Carbone HM(brai) |
|---|---|---|---|---|
| Masse volumiques(kg/$m^3$) | 1750 | 1810 | 1950 | 2000 |
| Diametre en (µm) | 5-7 | 5-7 | 5-7 | 12 |
| Module de Young En (GPa) | 230 | 400 | 600 | 280 |
| Contrainte a la rupture (MPa) | 3000-4000 | 2800 | 2000 | 2000-2400 |

**Tableau I.4 :** caractéristiques de fibres de carbone. **[44]**

HR : haute résistance ;

HM : haut module d'Young ;

THM: très haute module d'Young ;

HM (brai) : haut module à base de brai

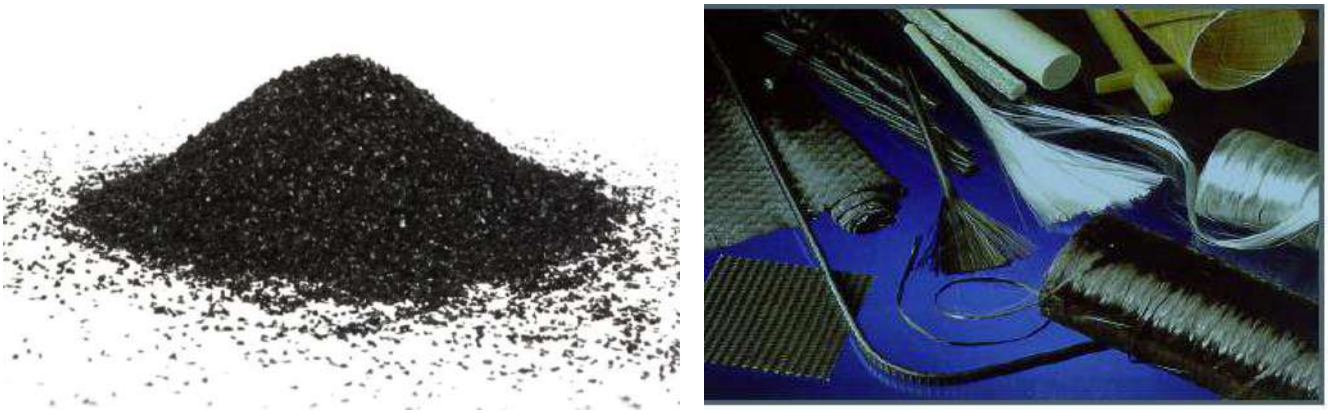


**Figure I.16:** Fibres de carbones

**B. Les fibres de verre**

Les fibres de verres sont élaborées par fibrage du verre fondu à travers des filières, sortes de bacs réalisés en alliage platine-rhodium, et percés à leurs bases d'orifices calibrés. Le verre fondu est maintenu dans les filières, chauffées à 1250°C. A cette température, la viscosité du verre permet un écoulement par gravitation à travers les orifices. Il sont produits à partir d'un verre filable appelé verre textile composé de silice, alumine, chaux, magnésie, etc. Ces produits coûteux, associés à des procédés assez simples d'élaboration, confèrent aux fibres de verre un excellent rapport performance/prix qui les place de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans les matériaux composites**. [44]**

| Type | Caracteristiques generals |
|---|---|
| E | A usage general ; boone proprieties electriques |
| D | Haute proprieties dielectriques |
| A | Haute teneur en alkali |
| C | Bonne resistance chimique |
| R.S | Haute resistance mecanique |

**Tableau I.5 :** différent types de verres filables

Mais il faut signaler que l'action corrosive des alcalins contenue dans le ciment sur les fibres de verres (problème de durabilité), malheureusement influe directement est d'une manière rapide sur les caractéristiques mécaniques des mortiers de fibres de verres, et provoque des microfissurations dues au phénomène de fluage. **[45]**

A cet effet, les fibres de verre pour pouvoir être utilisées dans le béton doivent subir soit un traitement par ensimage, soit être protégées au moment de leur emploi par ajout dans la gâchée de polymères, soit enfin avoir été fabriquées avec un verre de zirconium cette dernière solution étant la plus pratique**. [10]**.

Dans ce même contexte des recherches ont été entreprises pour empêcher l'attaque chimique du verre, en fabricant des fibres de verre E revêtues par imprégnation d'une résine thermoplastique; ainsi un verre résistant aux alcalins à été développé en Angleterre par la B.R.E (Building Research Establishment). Ce verre se différencie du verre à vitre sodo calcique et du verre E par son enrichissement en Zircone. Les études effectives ont montré que ce verre était très résistant aux alcalins et qu'il convenait parfaitement pour renforcer le béton**. [46]**

Le verre sous forme massive est caractérisé par une très grande fragilité, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration. Par contre, élaboré sous forme de fibres de faible diamètre (quelque dizaine de microns), le verre perd ce caractère et possède alors de bonnes caractéristiques mécaniques. **[44]**

Ces fibres sont utilisées dans la confection des panneaux préfabriqués, murs- rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince de béton et enduit pour bloc de béton **[47]**

Les caractéristiques des fibres de verre sont résumées dans le tableau I.6.

| Fibre | Diametre en µm | Densite | Allongement de rupture | Module d'elasticite (GPa) | Resistance en traction(GPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| Verre | 5-500 | 2.4 | 2-3.5 | 80 | 2-3 |

**Tableau I.6 :** caractéristiques physiques et mécaniques de fibres de verres **[47]**

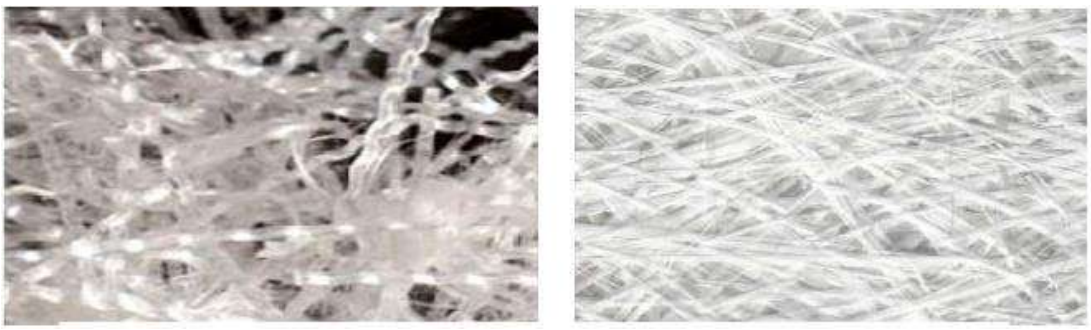


**Figure I.17:** Fibres de verres

### I.2.2.3 Les fibres organiques

#### A. Les fibres d'Aramide

Aramide est un terme générique pour un groupe de fibres organiques de faible densité et résistances spécifiques (rapport résistance en traction / densité) parmi les plus élevées parmi les fibres de renfort courantes. Les fibres d'aramide (Figure I.18) sont caractérisées par :

- une haute résistance ;
- une rigidité élevée ;
- une stabilité vis-à-vis des hautes températures.

La température d'utilisation typique pour les fibres d'aramide varie entre -200°C et +200°C. Trois types de fibres d'aramide sont commercialement disponibles portant les marques de fabricants telles que :

- Kevlar (Dupont, USA) ;
- Twaron (Akzo, Pays-Bas) ;
- Technora (Teijin, Japon).

Ces fibres sont résistantes à de nombreux produits chimiques, mais elles peuvent être dégradées par certains acides et alcalins.



**Figure I.18:** Fibres d'Aramide hachées et en files

#### B. Les fibres de polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton. Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post-fissuration (contrairement aux fibres métalliques). Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas

de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C).



**Figure I.19:** Fibres de polypropylène

### I.2.2.4 les fibres végétales

Les fibres végétales sont des fibres naturelles destinées, comme les autres types de fibres, à améliorer les caractéristiques mécaniques du béton à la traction et à la déformation en s'opposant à sa fragilité. Il existe une grande variété de fibres végétales dont on peut citer :
Le sisal, le jute, le coir (fibre de caco), bois, bambou et le palmier.
Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A savoir :
les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. Elles sont utilisées généralement dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et du béton**. [45]**
Tableau (I.7 (a)) présente les propriétés physiques des fibres végétales les plus utilisées, reproduit par Kriker. **[45]**

| Fibre | Diameter en(mm) | Densite en ($g/cm^3$) | Teneur en eau a l'etat natural (%) | Absorption d'eau apres 5min-(%) | Absorption d'eau a la saturation (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| sisal | 0.008-0.3 | 0.75-1.07 | 10.97-14.44 | 67-92 | 190-250 |
| Noix de coco | 0.11-0.53 | 0.67-1.00 | 11.44-15.85 | 22-28 | 85-135 |

**Tableau I.7 (a) :** caractéristiques physique de fibres végétales les plus utilisées

Le tableau (I.7 (b)) présente les propriétés physique et mécanique de quelques fibres végétales reproduites par Kriker. **[45]**

| Fibre | Densite en ($g/cm^3$) | Allongement de rupture (%) | Resistance en traction(GPa) | Module de Younge (GPa) |
|---|---|---|---|---|
| Cotton | 1.5-1.6 | 7.0-8.0 | 587-597 | 5.5-12.6 |
| Jute | 1.3 | 1.5-1.8 | 393-373 | 26.5 |
| Lin | 1.5 | 2.7-3.2 | 345-1035 | 27.6 |
| Chanvre | - | 1.6 | 690 | - |
| Ramie | - | 3.6-3.8 | 400-938 | 61.4-128 |

**Tableau I.7 (b) :** caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.

### I.2.2.5 les fibres animales

Pour les fibres animales, on peut trouver :

- Fibres de poil ;
- Fibres de laine ;
- Fibres de soie.

### I.2.3 Utilisation des fibres dans la construction

| Type de fibre | Application |
|---|---|
| Verre | Panneaux prefabriques,murs,rideaux,tuyaux d'egout,toiture en voile mince,enduit |
| Acier | Element de toitures en beton cellulaire linto,revetement de chausse ,tabliers de pont,produit refractaire,tuyaux en beton,piste d'atterrissage,reservoirs sous pression ,travaux de restauration batiments |
| Polypropylene nylon | Pieux de foundation , pieaux precontraints , panneaux de revetement ,element flottant de debarquage et armatures pour les marinas, reparation des routes,tuyau sous marin , traveaux de restauration batiments |

| | |
|---|---|
| Amiante | Voiles , tuyau,panneaux materiaux d'isolation thermique,tuyaux d'egouts plaques de toiture plates et ondulees, revetment des murs |
| Carbone | Element nodule pour la construction des planches ,membrane simple ou double courbure coques , plancher d'echafaudage |
| Particules de mica | Panneaux,tuyaux ,travaux de restauration |
| Vegetale | Dallesn,tuiles |

**Tableau I.8:** Application des divers renforcements de fibres **[45].** Et **[49]**

### I.2.4 Formulation des bétons de fibres

Le problème de la formulation des bétons s'est singulièrement compliqué durant ces dernières années. Tout d'abord, de nouveaux constituants tels que les adjuvants organiques, les additions minérales (cendres volantes, fillers etc.) ou les fibres, sont venus s'ajouter à la panoplie classique des granulats et des ciments. Ensuite on s'est intéressé à un nombre croissant de propriétés d'usage du matériau en relation avec la totalité de son cycle de vie (depuis son comportement rhéologique à l'état frais jusqu'à sa durabilité dans différentes ambiances). Enfin, la gamme des propriétés que l'on peut atteindre avec les moyens industriels modernes s'est singulièrement élargie, on rappellera que les deux aspects communément étudiés dans une formulation de béton, à savoir la maniabilité et la résistance en compression. On sait aujourd'hui formuler des bétons secs (d'affaissement nul) comme des bétons auto compactant ou auto nivelant. De même, toute une gamme de résistances a été explorée allant de 1 à 2 MPa, pour des matériaux réexcavables destinés au remplissage de tranchées, à des résistances très élevées qui peuvent être supérieures à 200 MPa pour des mortiers à ultra haute résistance destinés à la fabrication de conteneurs de déchets radio actifs, par exemple.

En résumé, le problème de la formulation des bétons comporte de nos jours davantage de variables et de dimensions tout en tenant compte que l'espace dans lequel on évolue est beaucoup plus vaste. L'approche scientifique du béton s'appuie principalement sur une analyse de la structure granulaire du matériau. Trois étapes sont successivement parcourues :

- l'empilement sec dont on cherche à prévoir la compacité et la ségrégabilité
- l'empilement humide (béton frais) intéressant par ses propriétés rhéologiques
- l'empilement constitué du squelette du granulat noyé dans une matrice de pâte de ciment durcie. **[50]** On peut ainsi définir la formulation comme :

**Tableau I.9 :** Définition de la formulation

| Formulation classique d'un béton | | |
|---|---|---|
| Maniabilité | Résistance à la compression | |
| Problème actuel de la formulation des bétons | | |
| Davantage de variables | Espace de recherche beaucoup plus grand | Davantage de dimensions |
| Approche scientifique du béton | | |
| Analyse de la structure granulaire | | |
| Trois étapes parcourues | | |
| L'empilement sec : compacité et ségrégabilité | L'empilement humide (béton frais) : propriétés rhéologique | L'empilement constitué du squelette du granulat noyé dans une pate de ciment durci |

La formulation de béton a tenu compte de l'application des trois hypothèses fondamentales de cette méthode (BARON – LESAGE) **[51]** donne :

- E/C fixé au départ : le béton le plus maniable est celui qui a le squelette granulaire le plus Compact.
- Les proportions optimales en granulats ne dépendent pas de la nature et du volume du liant
- L'introduction des fibres ne modifie pas les deux premières hypothèses.

On se doit d'établir au préalable :

- Le rapport eau–liant.
- Le diamètre du plus gros granulat.
- La géométrie et les dimensions de la fibre.
- Le pourcentage des fibres.
- La maniabilité souhaitée.
- La variation du rapport massique S / S+G avec la maniabilité correspondante : si la maniabilité voulue n'est pas atteinte, il faudra augmenter ou diminuer le volume de liant ou ajouter un super plastifiant.

### I.2.5 Comportement Mécanique des bétons fibrés

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce Qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux-mêmes de plusieurs variables tels que :

- Les propriétés des fibres qui dépondent :
- La nature de fibre (acier, verre, polymère ou végétale) ;
- L'élancement des fibres ;
- La quantité d'incorporation des fibres.
- Les propriétés de la matrice qui dépendent aussi :
- De la qualité et la quantité de ciment ;
- De la qualité et les dimensions des granulats ;
- Du rapport E/C.
- Le comportement de la bande d'interface qui dépend :
- De la longueur des fibres ;
- De la distribution des fibres, leur orientation et leur espacement ;
- De type de cure ;
- Du mode de chargement.
- Les conditions de la mise en œuvre qui dépendent :
- Du mode de remplissage du béton (pression, vibration) ;

#### I.2.5.1 Résistance à la compression

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur l'effet des fibres sur la résistance à la compression du béton renforcé de fibres montrent quelques divergences.

Cependant ils sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation de la contrainte ultime, dans d'autres une légère diminution. Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires à l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer à l'endommagement et donc limiter la charge maximale. **[52]**

### I.2.5.2 Résistance à la traction directe

D'après la bibliographie, les augmentations de résistance en traction dues aux fibres sont variables. D'une manière générale, on peut dire que les améliorations constatées dépendent essentiellement de la forme des éprouvettes, du type d'essais, de paramètres liés à la géométrie et au pourcentage volumique des fibres utilisées, et bien sûr au béton témoin retenu.

Donc on constate que pour tous les BF, les résistances à la compression est inférieures ou à peu près égale à celle du béton de référence. Ceci confirme que les fibres métalliques n'interviennent pas d'une manière significative sur le comportement à l'échelle du matériau. Nous pouvons résumer ces résultats de la manière suivante :

- la quantité de sable et de pâte de ciment étant plus importante dans les BF que dans les bétons sans fibres la porosité de ces BF est également plus importante.

Par conséquent si l'on se réfère à la loi de FERET, on en déduit une chute logique des résistances l'ajout de fibres dans la matrice perturbe notablement celle-ci en y introduisant des vides (effets de voûte, effets de parois). **[53]**

Dans les BF, il y a moins de gros graviers que dans les bétons sans fibres, et il semblerait que ceux-ci jouent un rôle non négligeable dans la résistance du béton. **[54]**

### I.2.5.3 Résistance à la flexion

Le renforcement par des fibres est utilisé pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration. L'amélioration de la résistance de première fissuration est ordinairement un gain secondaire. En flexion, contrairement à ce qui est généralement observé en traction directe avec ce type de fibres, la structure fissurée peut reprendre des efforts bien supérieurs à ceux relevés lors de l'apparition de la première fissure. Un peu comme en béton armé classique, la déformation de flexion s'accompagne du développement d'une fissuration et du déplacement vers le haut de l'axe neutre. **[54]**

### I.2.5.4 Résistance à la fatigue

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition peut conduire à la rupture. Ainsi d'une manière très générale, il y aura fatigue toutes les fois que l'on est en présence d'efforts variables dans le temps. Ce qui est bien particulier à la fatigue,

c'est que la rupture peut se produire pour des contraintes apparentes relativement faibles, souvent inférieures à la limite d'élasticité, lorsque leur application est répétée un grand nombre de fois.

La résistance à la fatigue des éléments en béton est conditionnée par de nombreux facteurs :

- en particulier, les conditions d'application des sollicitations cycliques qui peuvent modifier sensiblement la résistance à la fatigue d'une structure.
- Une distinction est généralement faite entre une fatigue avec un cycle à basse fréquence, mais un niveau de contrainte élevé et une fatigue à haute fréquence mais à un niveau de contrainte faible.

Ceci correspond à deux types d'étude, par exemple d'une part le séisme et d'autre part l'action du vent et des vagues. Bien que la distinction entre les deux types de chargement ne soit pas très précise, conventionnellement 1000 à 10000 cycles sont choisis comme limite entre les deux types de chargement. **[54]**

### I.2.6 Utilisation et influence de deux ou plusieurs types de fibres :

Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques différentes selon leur nature. Chaque type de fibre peut présenter une influence particulière sur le comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications spécifiques.

Le choix du type de fibres utilisées est donc fonction du domaine d'utilisation et des Performances souhaitées. S'agissant de la nature, la fibre métallique est la plus utilisée.

Dans le cas de l'utilisation de deux types de fibres métalliques dans la même composition, les fibres courtes qui à même dosage, sont plus nombreuses peuvent être actives en jouant le rôle de couture sur des microfissures qui se développent aux premiers stades du chargement.

La résistance à la traction peut se retrouver augmentée. Au fur et à mesure que la charge augmente l'ouverture des fissures augmente aussi. Ceci cause l'arrachement des fibres courtes, alors que les longues fibres peuvent continuer à transférer les efforts à travers les fissures et ainsi à contribuer à l'augmentation de la résistance résiduelle post -fissuration.

Les fibres longues sont donc généralement actives dans l'amélioration de la ductilité (voir Figure a et b. **[55]**

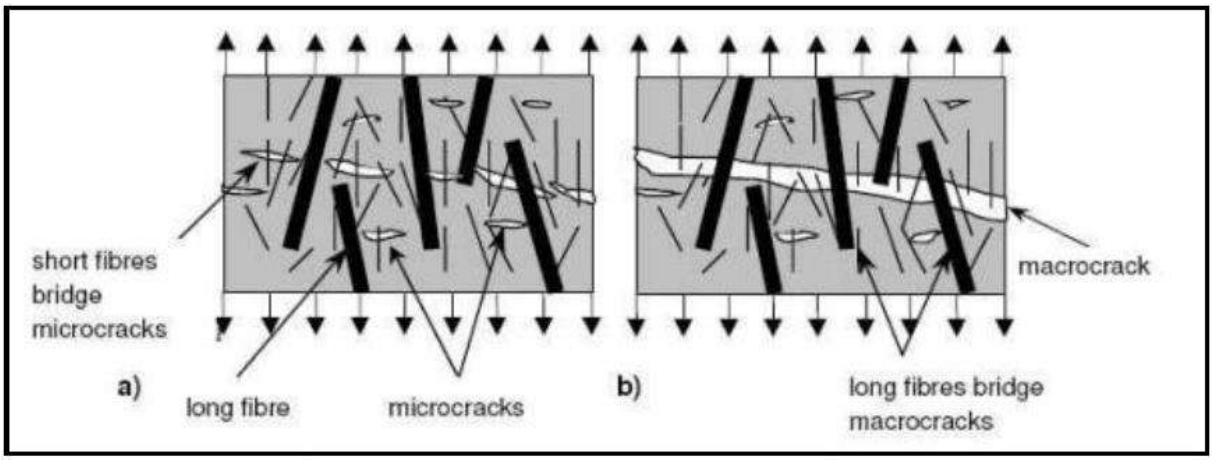



**Figure I.20 :** Processus de couture :

**a)** Influence des fibres courtes dans le processus de couture des microfissures.

**b)** Influence des fibres longues dans le processus de couture des macrofissures. **[56]**

### I.2.7 Durabilité des bétons de fibres :

La durabilité à long terme des BF est un problème qui se pose aux fabricants et aux utilisateurs. Elle dépend de :

- la nature et du traitement des fibres ;
- la qualité des ciments utilisés ; **[48]**
- le mode de conservation. **[57]**

Plusieurs essais effectués à long terme sur les résistances à la traction et à la flexion des BF d'acier et de polymère, révèlent que ces types de béton présentent une bonne durabilité dans les milieux secs et humides.

TOLËDO et al. **[57]** ont étudié l'effet des cycles de séchage/mouillage sur la charge de rupture des matrices cimentaires renforcées par des fibres végétales de sisal et de coir. Ils ont remarqué que la charge de rupture diminue avec le temps, surtout la charge de rupture supportée par les fibres après fissuration de la matrice et après un certain nombre de cycles de séchage/mouillage.

### I.2.8 Avantages et inconvénients

Les améliorations suivantes des propriétés des bétons de fibres sont considérées comme acquises.

- Résistance à l'impact plus élevée ;
- Augmentation de l'énergie de rupture ;
- Amélioration de la ductilité ;
- Comportement différent à la fissuration ;
- Entraînant un retard notable de la fissuration ;
- Réduction de la maniabilité du fait de la présence des fibres quand le pourcentage de celles-ci sont élevé ;
- Introduction d'un certain type de fibres dans le béton avec les moyens traditionnels se révèle très difficile ;
- Pendant la livraison, les fibres sont enchevêtrées, implique la difficulté de mise en place ;
- Actuellement le prix des fibres est relativement très élevé et de ce fait le prix de revient du m3 de béton de fibre peut paraître excessif par rapport à celui du béton traditionnel.

## I.3 BETON AUTOPLAÇANT FFIBRE

### I.3.1 Introduction

Malgré les améliorations appréciables obtenues au niveau du comportement mécanique des bétons, l'incorporation des fibres dans le béton reste problématique du point de vue de l'ouvrabilité et de la répartition homogène des fibres. Pour remédier à ces problèmes, l'association des fibres avec le béton autoplaçant (BAP) paraît prometteuse.

En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'absence de vibration de ces matériaux évite une distribution hétérogène des fibres dans la matrice**. [55]**

Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs ont montré qu'il peut être une solution appropriée pour les applications sur poutres en I en béton précontraint, au niveau des zones fortement ferraillées afin de contrôler la fissuration **[58]** L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est

fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élancement. **[59]**

### I.3.2 Composition des BAPF

La composition de mélange du béton autoplaçant renfoncé de fibres est souvent un compromis entre conditions sur l'état frais et durci : Une diminution soudaine d'ouvrabilité se produit à un certain contenu de fibre, qui dépend de la composition du mélange et de type de fibre. Les paramètres touchant sur le comportement du béton dans l'état frais ont été variés dans plusieurs études expérimentales pour trouver leur effet sur les caractéristiques principales du BAPF. **[60]**

### I.3.3 Formulation des BAPF

La conception du mélange est souvent basée sur quelques principes de base :
augmenter la teneur en pâte, le dosage en superplastifiant et le contenu des granulats fins à l'allongement et au volume croissant de fibres. ROSSI, HARROUCHE et HOY **[61]** ont approché la conception du mélange des matrices de béton autoplaçant renforcé de fibres sur une façon plus systématique : ils ont optimisés le squelette granulaire, le contenu et les caractéristiques de la pâte doit être tenue en compte pour lier l'ouvrabilité et la composition du mélange. La distribution homogène et l'orientation des fibres sont souvent assurées mais rarement étudier. La condition sur les caractéristiques principales du BAP demeure la même pour les BAPF ; l'obtention des BAPF peut être faite de différents points de : la capacité de remplissage ; le comportement de post-fissuration ; la classe de résistance à la flexion par fendage et les coûts.
ROSSI et HARROUCHE ont proposé une méthode de conception pour optimiser le squelette granulaire du béton de tissu renfoncé qui a été basé sur la méthode Baron-Lesage. Ils ont fait toute prétention : d'abord, le béton le plus réalisable est obtenu au cas où le squelette granulaire serait optimisé. En seconde lieu, le premier juge varie indépendamment de la nature ou du volume de la pâte de ciment. **[60]**

### I.3.4 Influence des fibres sur les propriétés a l'état frais

Une étude réalisé par Grunewald un programme dédié aux propriétés des BAP fibrés en fonction de la teneur en fibres **[60] [62] [63] [64]** du type de fibres (métallique et polypropylène avec différentes géométries) et du rapport massique sable/granulat. Pour la composition déréférence, le rapport sable/granulats de 40% était utilisé car considéré comme

optimal pour la compacité du béton. Après les différents essais d'ouvrabilité réalisés sur les différentes compositions des bétons à l'état frais, les conclusions ci-après ont été tirées. **[55]**

### I.3.4.1 Essai d'étalement

L'analyse bibliographique montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente. Le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans composition de référence. On remarque sur la Figure I.21-a une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface, ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions. En outre, pour certaines compositions (voir Figure I.21-b) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. Figure I.21-c illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu

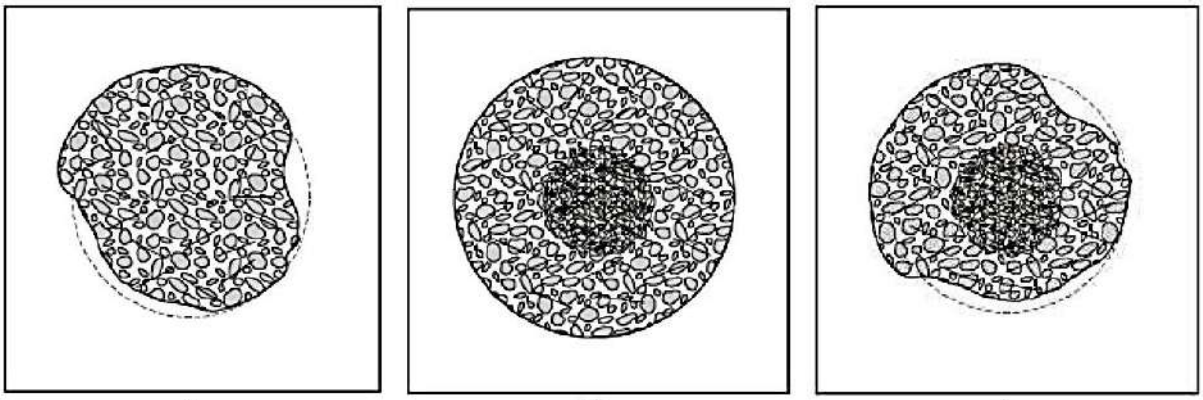



**Figure I.21 :** Effets des fibres sur l'étalement des BAP **[65]**

Sachant que l'élancement (Lf/Df) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, Grünewald et Walravens 2001a **[65]** se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme le produit entre la teneur volumique en fibres Vf et l'élancement. La Figure I.22 décrit l'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibres. Aucune différence n'a été observée entre l'étalement mesuré directement après malaxage et 1 heure après malaxage. En revanche, une augmentation du facteur de fibre réduit sensiblement l'étalement.

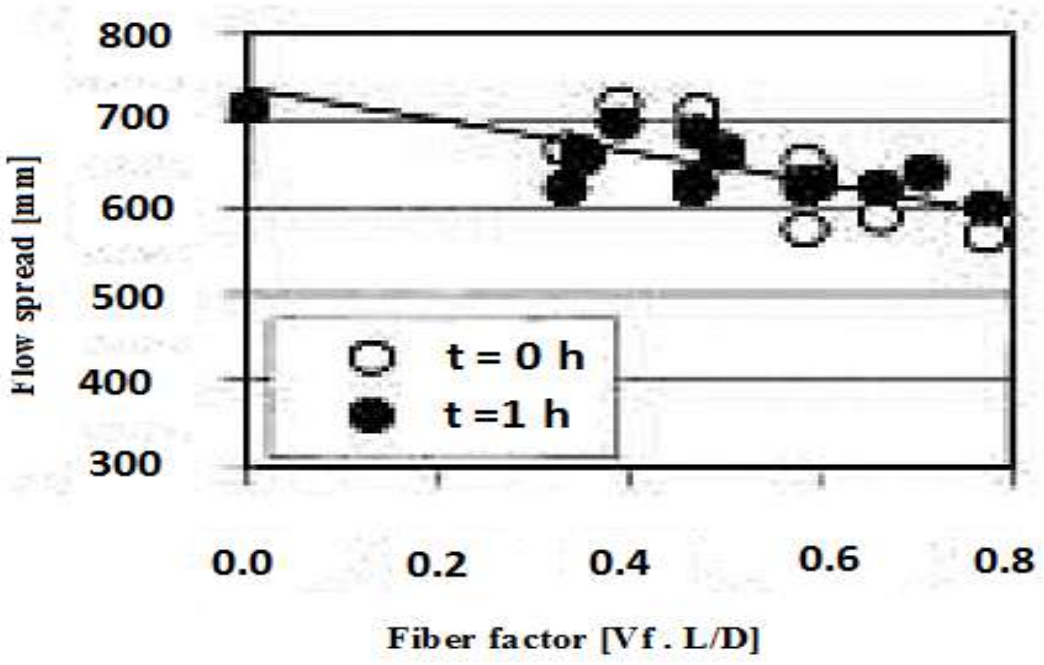



**Figure I.22 :** L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre **[65]**

### I.3.4.2 Essai de V-funnel.

Grünewald a trouvé que les temps d'écoulement à travers l'entonnoir (V-funnel) pour les différentes compositions directement après malaxage sont dans une gamme comprise entre 4,5s et 5,7s. **[65]**

On note sur la Figure I.23 une augmentation linéaire du temps d'écoulement en fonction du facteur de fibres. Le comportement à l'écoulement des bétons évalué par l'intermédiaire de cet essai dépend essentiellement de la viscosité ainsi que de la taille du plus gros granulat par rapport aux dimensions de l'ouverture de l'entonnoir. Les temps de passage à travers l'entonnoir à t =1h sont nettement plus élevés qu'à t = 0 heure.

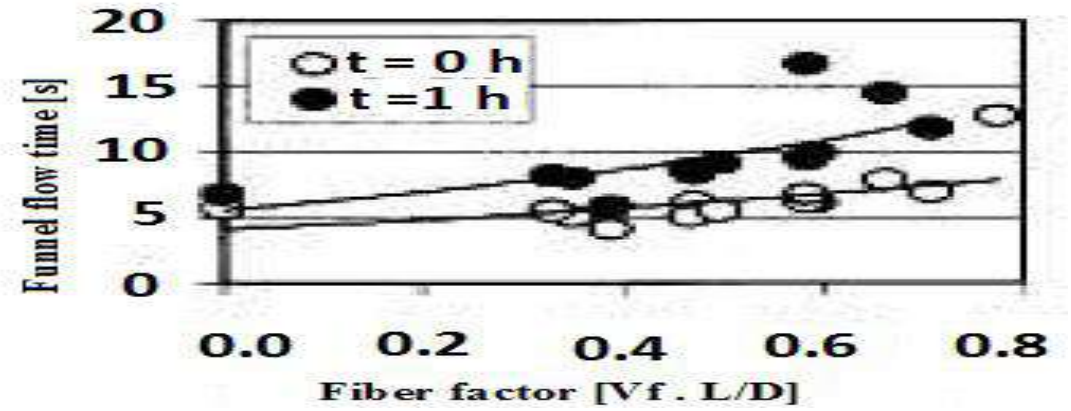



**Figure I.23 :** L'évolution du temps d'écoulement à travers l'essai V-Funnel en fonction du facteur de fibres. **[65]**

### I.3.4.3 Essai J-RING

Le J-Ring est un essai d'étalement modifié par les japonais pour évaluer la sensibilité au blocage des bétons fibrés dans le milieu confiné notamment par les armatures. Les fibres affectent de manière significative la capacité de passage par rapport à la composition de référence sans renfort de fibres. L'espacement exigé des barres pour le non blocage augmente avec le dosage en fibre. Dhonde et al 2007 ont réalisé une étude sur le comportement à l'état frais des bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques et ont conclu que l'écoulement est obstrué par les barres, ce qui crée une différence de niveau entre le béton restant à l'intérieur de l'anneau et celui passé à travers. L'élancement de la fibre, la teneur des granulats (fins ou gros) et les caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment affectent également ce comportement. **[66]**

| C/Lf (-) | LF/df (-) | Max.mf (kg/$m^3$) |
|---|---|---|
| ≥ 3 | 80 | 30 |
| | 65 | 60 |
| ≥ 2 | 65 | 30 |
| | 45 | 60 |
| ≥ 1.5 | 45 | 30 |

**Tableau I.10 :** Recommandation concernant l'espacement normalisé des barres afin d'éviter le blocage dans les BAPF. **[59]**

Avec :

c : espacement entre les barres.

mf : dosage en fibres (kg/m3 de béton).

### I.3.4.4 Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique)

Grünewald et Walravens **[65]** ont constaté que lorsqu'on augmente le dosage en fibres, la porosité interne du squelette granulaire est plus importante et donc la viscosité plastique est plus élevée. C'est une conséquence du frottement dit « solide » qui favorise la résistance à l'écoulement. Jusqu'à une concentration de fibres métalliques de 1 %, la viscosité plastique accroît avec une pente très faible. Au-delà de cette valeur, cette dernière devient nettement plus grande et l'écoulement du béton frais est quasi nul justifiant ainsi la consistance élevée du milieu. De plus, à taux de fibre donné, cette viscosité est plus importante lorsque les fibres sont longues. **[67]**

## I.3.5 ORIENTATION ET DISTRIBUTION DES FIBRES

L'orientation et la distribution des fibres affectent les performances et les caractéristiques des BAP fibrés à l'état durci. Petersson 1998 **[68]** a réalisé une étude sur la distribution des fibres métalliques dans la boîte en L qui a consisté à réaliser des photographies aux rayons X des sections transversales du béton durci. Les conclusions retenues sont que les fibres étaient relativement bien distribuées, bien qu'une légère ségrégation des fibres fût observée par rapport aux gros granulats. Par ailleurs, il a été constaté que la majorité des fibres étaient orientées dans le sens de l'écoulement ; cet effet était plus prononcé pour des fibres de plus grande longueur **[68]** Groth et Nemegeer 1999 **[69]** a aussi conclu que l'écoulement oriente les fibres. Même si l'écoulement propre aux BAP confère aux fibres une orientation préférentielle, le même auteur est arrivé à la conclusion selon laquelle, aux dosages en fibres courants, l'effet de ce renfort est relativement le même pour un béton vibré ou autoplaçant du moment qu'ils ont la même classe de résistance et le même type et dosage en fibres. Cette conclusion a été tirée en se basant essentiellement sur les performances en flexion. **[70]**

## I.3.6 UTILISATION DES BAP FIBRES DANS LES STRUCTURES.

Les Différentes applications de BAPF sont présentées dans le Tableau I.11.

**Tableau I.11 :** Domaines d'application **[71]**

| Applications | Intérêt apporte par l'adjonction des fibers dans le béton |
|---|---|
| Canalisation et coques minces faiblement sollicitées | - Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges<br>- Modification des variations dimensionnelles,<br>- lutte contre les fissurations |
| Dallages, chaussées en béton, Dallages manufacturés, et tous éléments structuraux soumis à la flexion | - Diminution de 40% de l'ouverture de fissures<br>- L'augmentation de la rigidité après fissuration<br>- Augmentation de la résistance au cisaillement<br>- Augmentation de la résistance à l'usure |
| Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux,pieux, fondations, …etc. | - Amélioration de la charge ultime<br>- Pas de rupture catastrophique |
| Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles ex: piste d'un aéroport | - L'énergie absorbée est plus importante<br>- La durée de choc est augmentée<br>- Loi de comportement du matériau est fortement modifiée |
| Réparation des revêtements routiers,<br>tablier de ponts | - Amélioration de la résistance aux chocs<br>- Amélioration de la déformabilité |
| Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes temperatures | - Remplacement avec succès du revêtement réfractaire<br>- Diminution le coût de réparation des éléments réfractaires |
| Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains. | - Evite le travail de fixation du grillage ordinairement employé.<br>- Diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus, |

## I.3.7 Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés

Les propriétés mécaniques permettant de caractériser un BAP fibré à l'état durci sont les résistances à la compression, à la traction, et à la flexion. Les fibres influent directement surl'ouverture de la fissure et donc sur la rigidité et la ductilité après fissuration. Dans cette partie, nous nous limiterons au comportement instantané. Le retrait et le fluage peuvent être, considérés comme similaires à ceux des compositions ordinaires. **[55]**

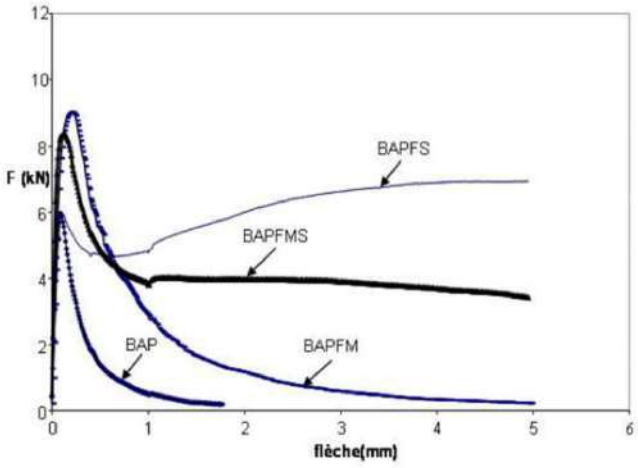
### I.3.7.1 Comportement à la flexion

D'après Groth **[59]** une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité et du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de fibres.

Alcantara 2004,2005 **[72]**.ET **[73]** Granju et al 2004 **[74]** ont étudié le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibraflex (FM) et synthétiques de type polypropylène (FS)).

Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m3 pour FM, 9 kg/m3 pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m3 pour un fibrage mixte. Les résultats obtenus sont détaillés ci-après.

- Les fibres métalliques « FM » qui sont réputées très adhérentes à la matrice ont conduit à une augmentation de la capacité portante néanmoins la résistance résiduelle chute rapidement pour des flèches imposées plus élevées.
- Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges.
- L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.
- Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques. Les figures (I.24 a et I.24 b**)** illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche



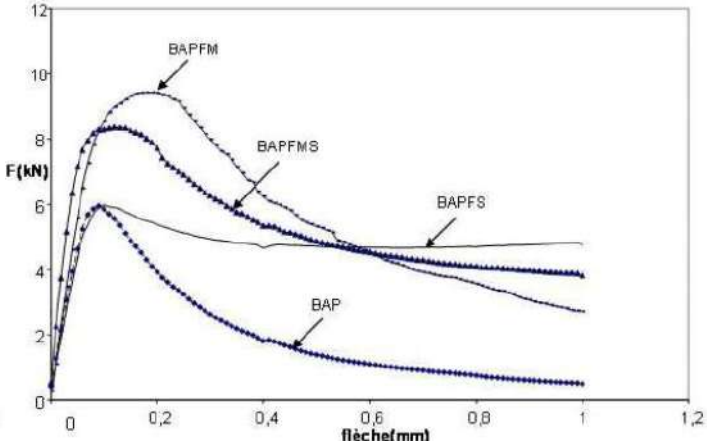




**Figure I.24** : **a)** Détail jusqu'à une flèche de 6mm **Figure I.24 : b)** Détail jusqu'à une flèche 1mm

**Figure I.24 :** Courbe effort-flèche pour différentes compositions, **[72]**

Kawamata et al 2003 **[75]** ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorait le comportement à la flexion des bétons.

### I.3.7.2 Comportement à la compression et à la traction

Dans la même étude réalisée par Alcantara 2004 **[72]** l'auteur a conclu que la résistance à la compression n'était pas significativement sensible à l'adjonction de fibres dans un BAP.

La résistance au jeune âge est quelque peu faible, probablement due à un effet retard de l'hydratation des mélanges et/ou des fillers, lié aux adjuvants. Néanmoins, à long terme, la résistance correspond à celle d'un béton ordinaire avec un même rapport E/C.

Les résistances à la compression visées à 28 jours ont été atteintes pour tous les types de bétons, avec une très légère diminution des rapports Rcomp/Rtrac entre 7 et 28 jours. Cette réduction modérée est probablement due à l'amélioration de l'adhérence des fibres avec le béton dans le temps, mécanisme dont dépend fortement la résistance à la traction.

À partir d'essais de traction directe effectués par Pons et Al **[76]** Les auteurs en ont tiré les principales conclusions ci-après :

- Les fibres métalliques réputées très adhérentes agissent dès les plus faibles ouvertures de fissures ; elles confèrent au matériau une résistance apparente en traction améliorée en agissant dès la microfissuration
- Les fibres synthétiques, glissantes, seront mises en tension plus progressivement et vont ponter les macrofissures en faveur d'une résistance résiduelle à la traction maintenue les deux types de fibres ont des effets complémentaires en agissant sur des niveaux d'ouvertures de fissure différents.

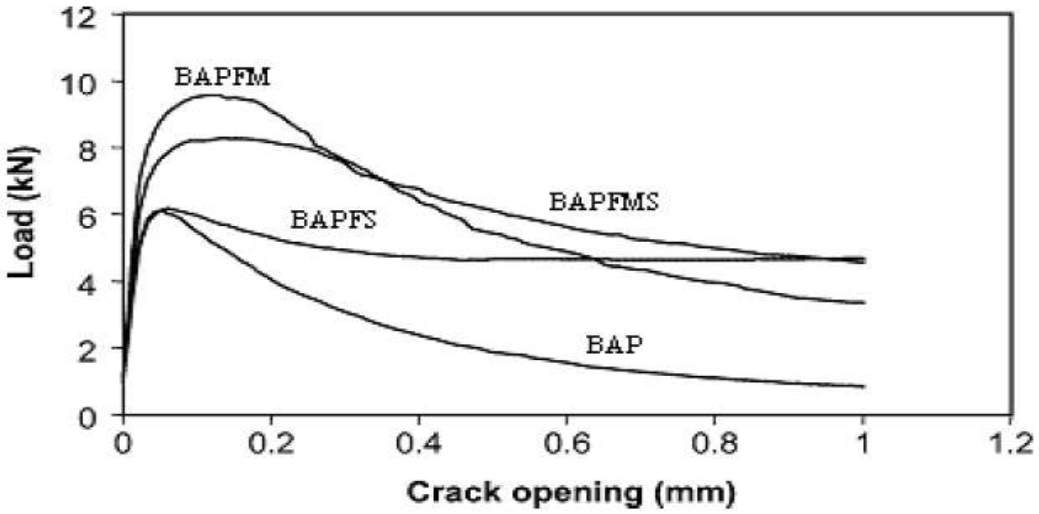



**Figure I.25 :** Comportement à la traction de différentes compositions, **[76]**

# I.4 MATIERE DE VERRE ET PLASTIQUE

## I.4.1 Introduction

Une idée relativement récente consiste à considérer les déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser. Traiter les déchets comme des matières premières devient de plus en plus courant, en particulier dans les agglomérations où l'espace pour ouvrir de nouvelles décharges se raréfie.

Le recyclage est un procédé par lequel les matériaux qui composent un produit en fin de vie (généralement des déchets industriels ou ménagers) sont réutilisés en tout ou en partie. Pour la plupart des gens dans les pays développés, le recyclage regroupe la récupération et la réutilisation des divers déchets ménagers. Ceux-ci sont collectés et triés en différentes catégories pour que les matières premières qui les composent soient réutilisées.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures :

- La réduction du volume de déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, pour se dégrader)
- La préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.

C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 1970, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés .

## I.4.2 Matière de verre

### I.4.2.1 Introduction

Le verre est produit dans de nombreuses formes, y compris bouteilles, bocaux, fenêtres, pare- brises, ampoules de verre, écrans de télévision, moniteurs, etc.qui ont tous une durée de vie limitée dans la forme sous laquelle ils sont produits et ont besoin d'être réutilisés afin d'éviter les problèmes d'environnement qui serait créés si elles doivent être stockées ou envoyées à décharge.

Les déchets non recyclables de verre constitue un problème pour l'élimination des déchets solides dans de nombreux pays, étant donné que le verre n'est pas biodégradable, les décharges ne fournissent pas une solution respectueuse de l'environnement, en conséquence,

il y a une forte nécessité d'utiliser ces déchets de verre.

Bien qu'il n'existe pas de données fiables sur les quantités de déchets de verre produites en Algérie, il est un signe évident d'une forte augmentation accumulés dans leurs quantités de déchets solides rejetés en raison de l'absence ou le mauvais fonctionnement des systèmes de collecte, de traitement et d'élimination de ces déchets d'une part et les changements de la société d'autres part. **[77]**

### I.4.2.2 Historique

Les historiens, eux-mêmes, sont divisés sur ce sujet car ils éprouvent bien des difficultés à séparer l'histoire de la légende. Certains attribuent la fabrication du verre aux Phéniciens, d'autres aux Egyptiens (des perles de verre ont été trouvées à côté de momies égyptiennes dont l'âge serait estimé à 4000 ans avant J.-C.) en soulignant que le seul rôle des Phéniciens a été de propager ce savoir par voie de mer aux peuples plus à l'Ouest sur le bassin Méditerranéen. **[78]**

Toutefois, selon les théories les plus récentes, l'industrie du verre serait d'origine mésopotamienne. De la Mésopotamie (Irak actuel) elle serait passée en Egypte pour refluer vers la Mésopotamie et s'étendre à la Chine, la Grèce et enfin au reste du monde. **[79]**

### I.4.2.3 Les propriétés du verre :

Le verre est un corps solide, transparent, obtenu par la fusion du sable mêlé de chaux et de potasse ou de soude.

Il existe de nombreuses catégories de verre définies par des verriers ou par des scientifiques. Pour les verriers, c'est un solide altérable par les agents atmosphériques et renfermant plus de 60% de silice. Pour les scientifiques, c'est une substance amorphe, présentant l'état solide ou de liquide surfondu, transparent ,translucide ou opaque, sonore, doué d'une cassure brillante et pouvant passer par toutes les phases de l'état pâteux par élévation de température. Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence. **[80]**

#### I.4.2.3.1 Propriétés physiques :

- **La transparence** : mais il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohème et le cristal est le plus tendre.

- **La densité :** elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5.
- **La résistance et l'élasticité :** la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- **L'imputrescibilité :** il ne se putréfie pas.
- **L'imperméabilité :** elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ». **[80]**

#### I.4.2.3.2 Propriétés thermiques :

- **La dilatation :** c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications :il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.
- **La conductivité :** il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C **[80]**

#### I.4.2.3.3 Propriétés chimiques :

- **L'action de l'eau :** l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- **L'action de la lumière :** exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
- **L'action des acides :** ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout**. [81]**

### I.4.2.4 Les différents types de verre

- **Les verres sodocalciques :**

Exemple de composition : Silice (72%) + soude (13%) + chaux (5%) C'est le plus commun des verres. Il a une bonne stabilité chimique, mais il est sensible aux chocs thermiques. Il est utilisé pour la fabrication des verres plats et creux, des ampoules électriques et en bouteillerie.

Température de ramollissement pour 70% de silice = 700°C. Son coefficient de dilatation est élevé : 86 x 10-7 (de 0 à 300°C). [**80]**

- **Les verres borosilicates :**

Exemple de composition : Silice (80%) + anhydride borique (13%) + soude (4%) + alumine (3%) Le plus connu est le Pyrex (1915) qui possède une bonne résistance aux chocs thermiques. On en fait des ustensiles de laboratoire et de cuisine (résistance à la chaleur et aux agents chimiques). Il sert aussi pour l'isolation (fibres de verre) et le stockage de déchets radioactifs Température de ramollissement pour 80% de silice = 820°C. Son coefficient de dilatation est très faible : 32 x 10-7 (de 0 à 300°C). **[81]**

- **Les verres au plomb :**

Exemple de composition : Silice (62%) + oxyde de plomb (21%) + potasse (7%) On l'appelle cristal si la teneur en oxyde de plomb est supérieure à 24 %. Il sert en gobeleterie et en verrerie d'art, pour les téléviseurs et en électronique. Le cristal est limpide, très sonore, très résistant à la dévitrification (attention : sa matière n'a rien de cristallisé). En élevant la teneur en plomb (60%), on obtient un verre dense utilisé pour la protection des rayons X.

Le verre contient du plomb s'il noircit lorsqu'on le chauffe au chalumeau. coefficient de dilatation est très élevée : 90 x 10-7 (de 0 à 300°C). **[81]**

- **Le verre de silice :**

Il contient au moins 96% de silice.

Il est très employé grâce à sa grande pureté (transparence optique) et pour sa résistance aux températures élevées, à la corrosion et aux chocs thermiques.

On l'utilise pour la fabrication de tubes de lampe à halogène, des éléments d'optique et des miroirs de télescope.

Température de ramollissement pour plus de 96% de silice = 1700°C.

Son coefficient de dilatation est très faible : 5,6 x 10-7 (de 0 à 300°C).

- **Les vitrocéramiques (ou vitro cristallins) :**

Exemple de composition : Silice (75%) + alumine (15%) + sel de titane (5%) + oxyde de lithium (3%) Ce sont des dérivés du verre dont la fabrication est basée sur le principe de dévitrification.

La transformation en céramique semi-cristalline s'obtient par un traitement thermique appelé "céramisation" qui permet d'obtenir un début de cristallisation. La température de cristallisation est à environ 800° et la cristallisation dure environ 2 heures. **[81]**

Les vitrocéramiques peuvent posséder une grande résistance à la rupture et un coefficient de

dilatation très faible, ce qui leur permet d'être très résistants aux chocs thermiques.

Ils sont notamment utilisés en verrerie culinaire résistante au feu (plaques de cuisson). On les utilise aussi pour fabriquer des miroirs de télescope géant d'environ deux mètres de diamètre.

### I.4.2.5 Domaine d'application du verre :

Les domaines d'application du verre trempé sont vastes. Ses performances le rendent souvent indispensable, voire obligatoire pour de nombreux usages. Nous pouvons répertorier 7 pôles d'activités : l'automobile, l'électroménager. **[82]**

- **L'automobile :** Ce fut la première application du trempé. Il est utilisé pour l'ensemble des équipements : glaces latérales, lunettes arrière, toits ouvrants…
- **L'électroménager :** Il est utilisé pour les portes de fours et les plaques chauffantes.
- **Le verre intérieur** : Ce marché couvre des applications diverses comme les meubles, l'agencement, le sanitaire, les vitrines, les cloisons, la tabletterie, le mobilier de laboratoires, les salles blanches, escaliers…
- **Les équipements industriels** : Comprennent les machines, capteurs solaires, ascenseurs, portes automatiques.
- **Le matériel mobile** :(Hors automobile) Comprend le ferroviaire, la marine, le para automobile (matériels agricoles, chariots élévateurs, élévateurs, voiturettes…).
- **Le mobilier urbain :** Comprend les abribus, les panneaux publicitaires, les cabines téléphoniques…
- **Les façades** : Incluent les murs rideaux, les portes, les vitrines, garde-corps. **[80]**

### I.4.2.6 LE VERRE DANS LES BETONS

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considère comme étant pouzzolanique s'il est broyé finement. Ainsi il pourrait être utilise en remplacement du ciment Portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons ont gonfle et fissure Depuis, l'idée a été en partie abandonne.

Ce n'est que depuis une quinzaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recycle dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études. **[83]**

### I.4.2.7 La couleur du verre utilisé

Effectivement, différents auteurs ont pu montrer que la couleur du verre, autrement dit la composition chimique du verre, joue un rôle conséquent sur les propriétés mécaniques, notamment les résistances en compressions.

Nous pouvons citer a titre d'exemple les travaux de KARAMBERI et coll **[84]** et tout comme les travaux de PARK et coll **[85]** et ceux de SOBOLEV et coll. **[86]**

Ces auteurs ont travaillé sur deux couleurs de verre ; le verre vert et le verre brun. Leurs résultats ont montré que le verre vert présentait les meilleures performances mécaniques. En plus des deux couleurs précédentes, DYER et coll **[87]** ont utilisé du verre blanc. Ils ont pu montrer que le verre blanc possède les meilleures résistances mécaniques, suivi du verre vert puis du verre brun. Ces auteurs lient cette tendance a la composition chimique des verres. En effet, bien que l'analyse chimique de verres colores soit semblable il existe une éminente différence dans leur structure selon le rôle de chaque élément, qu'il soit formateur ou modificateur de réseau. **[83]**

### I.4.2.8 Utilisation du verre en tant que sable

De nombreuses études ont été menées pour essayer d'utiliser des déchets de verres broyés comme granulats en béton Parmi les études entamées on cite :

BATAYNEH et coll **[88]** et NISHIKAWA et coll. [**89]** ont travaillé avec des substitutions de sable non celle de ciment. Leurs résultats montrent que ce remplacement est bénéfique pour les bétons étant donne le gain de résistance obtenu. Toutefois, ils proposent une étude plus approfondie concernant la réaction alcali-silice et la durabilité de ces bétons, vu la quantité d'alcalins présente dans le verre.

SHAYAN et coll**. [90]** ont montré que la substitution de 30% de sable par du verre fin donnait de meilleures résistances que des mélanges témoins sans verre.

S. C. Kou et C. S. Poon **[91]** ont utilisé du verre recyclé en substituant le sable de rivière (dans des proportions de 10%, 20% et 30%). Les conclusions suivantes ont été tirées:

-L'étalement augmente avec l'augmentation de la teneur en verre recyclé.

-La résistance à la compression, la résistance à la traction par fendage et le module d'élasticité statique ont diminué avec l'augmentation de la teneur en verre recyclé.

La résistance à la pénétration des ions chlores a augmenté lorsque la teneur en verre recyclé a augmenté.

-Le retrait de dessication a diminué avec l'augmentation de la teneur en verre recyclé.

-L'évaluation globale à la fois des propriétés à l'état frais et l'état durcie indique qu'il est possible de produire du béton autoplaçant avec du verre recyclé.

-La réaction alcali silice de tous les spécimens a été considérablement réduite par l'utilisation de cendres volantes

Z. Z. Ismail, E.A. AL-Hashmi **[92]** ont examiné les propriétés des bétons contenant des déchets de verre en remplacement du sable (10%,15% et 20%).Les principales conclusions tirées de cette étude sont:

-L'affaissement des spécimens a diminué avec l'augmentation de la teneur des déchets de verre, qui est censé être influencé par la forme des grains des déchets de verre. En dépit de cette baisse de l'affaissement la maniabilité est bonne.

-L'effet pouzzolanique des déchets de verre dans le béton est plus évident à partir de 28 jours. Le meilleur pourcentage de déchets de verre qui donne le maximum des valeurs de résistance à la compression et à la flexion est 20%.

-Les résultats des tests ont indiqué que le remplacement partiel du sable avec des déchets de poudre de verre réduit l'expansion due à l'alcali réaction.

## I.4.3 Matière plastique

### I.4.3.1 Introduction

Les matières plastiques sont majoritairement produites à partir de substances extraites du pétrole et du gaz naturel. Au cours du temps, les avancées de la recherche ont permis la découverte de nouvelles matières plastiques aux propriétés remarquables. Mais elles sont aussi porteuses d'une mauvaise image, qui provient de la problématique de gestion de leur fin de vie liée à leur difficile dégradation et à ses conséquences associées : pollution des sols, des océans, lacs.

Les matières plastiques sont employées dans tous les secteurs de consommation avec une production mondiale dépassant les 300 millions par an depuis 2014.

### I.4.3.2 définition

La matière plastique est définie comme une substance polymère d'origine organique ou semi-organique, contenant un grand nombre d'atomes (ou groupes) de carbone, oxygène, hydrogène ou azote. On trouve plusieurs variétés de plastiques, qui peuvent être regroupées en trois catégories : les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.

Le pétrole et ses dérivés ou le gaz naturel sont les produits de base de toute matière

plastique. Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement. Pour les thermodurcissables, la transformation est irréversible. Une fois formé, le plastique ne se déforme plus. **[93]**

### I.4.3.3 Familles de plastique

Les plastiques sont des matériaux déformables : ils peuvent être moulés ou modelés facilement, en général à chaud et sous pression. Leur facilité de mise en forme, résistance aux chocs, aux variations de température, à l'humidité, aux détergents,… les rendent utiles dans tous les domaines : emballage, bâtiment, automobile, électricité, etc.

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. **[94]**

#### I.4.3.3.1 Les élastomères

Les élastomères ne sont pas réellement des « plastiques », ils sont élastiques qui se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture.

Issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie), le caoutchouc naturel est resté longtemps le seul élastomère connu mais les méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène,…) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques…).

Les élastomères présentent des caractéristiques bien spécifiques : grande élasticité, bonne étanchéité, fort pouvoir amortissant…Employés essentiellement en tant que pneumatiques, on les utilise également sous la forme de joints, de tubes et tuyaux, de membranes, de dispositifs antivibratoires,…dans de nombreux domaines d'activités : automobile, industrie, aéronautique, médecine. **[94]**

#### I.4.3.3.2 Les thermodurcissables

Au premier refroidissement ces plastiques prennent une forme définitive: ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. C'est une technique de fabrication difficile à mettre en œuvre mais les matériaux produits sont très solides et très résistants à la chaleur et aux agressions chimiques. **[94]**

#### I.4.3.3.3 Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur et deviennent souples. Ils prennent alors une forme qu'ils garderont en refroidissant. Cette transformation est

réversible et renouvelable un grand nombre de fois, ainsi les thermoplastiques sont facilement recyclables. Par contre ils ne sont pas biodégradables et ont une « durée de vie » de plusieurs centaines d'années.

La température de « ramollissement » étant moins élevée que celle du verre, les thermoplastiques ne peuvent pas être utilisé avec des produits chauds (comme par exemple la confiture qui, encore très chaude, sera mise dans des pots de verre). **[94]**

### I.4.3.4 Les déchets plastiques

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisions, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grand majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).
- Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,…).

On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opération de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. **[95]**

### I.4.3.5 Le recyclage des plastiques

Il a rencontré deux difficultés: d'une part, les déchets plastiques sont très dispersés, et difficiles à collecter économiquement en gros tonnages; d'autre part, différents types de plastiques sont dans la plupart des cas non miscibles, et ceux mélangés entre eux En donne Produits médiocres. Nous devons collecter ou trier de manière très sélective Strictement ou accepter de fabriquer des objets dont l'épaisseur peut compenser la faiblesse mécanique.

En plus du recyclage, nous pouvons également trouver de nouveaux emplois pour toutes sortes de déchets plastiques, Par exemple le renforcement des talus ou des bitumes pour revêtements routiers par des films déchiquetés. Cependant, dans la plupart des cas, la méthode de récupération la plus économique est le cycle thermique, qui est l'incinération par

récupération d'énergie: en équivalents pétrole, environ 50% de l'énergie consommée est utilisée pour fabriquer des produits en plastique et est donc restituée.

## I.5 CONCLUSION

Dans cette étude bibliographique nous avons résumé, l'état de connaissance sur l'historique et le comportement mécanique de béton autoplaçant fibré, Nous avons détaillé les différents Paramètres de composition influents et leurs conséquences sur les propriétés mécaniques du BAPF.

Plusieurs chercheurs (locales et même étrangers) ont étudié le comportement des bétons autoplaçants renforcés de divers types de fibres (BAP renforcé de fibres métalliques, BAP renforcé de fibres végétales,….etc.).

Dans cette étude, on s'intéresse à étudier l'influence de l'introduction des fibres plastiques et les fibres de verre comme sable sur les propriétés de BAP, puis on va comparer nos résultats avec celui des autres.

# CHAPITRE II :

# CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET METHODE DE FORMULATION

# II.1 INTRODUCTION

Dans cette partie, nous sommes intéressés par la présentation de matériaux et de méthodes pour divers tests expérimentaux utilisés dans des projets de recherche. La caractérisation des matériaux de construction nécessite une compréhension de la nature de sa composition. De plus, il n'est possible de déterminer le dosage optimal et d'effectuer certaines explications que lorsque les différents composants sont entièrement caractérisés. Tel est l'objet de ce chapitre.

A l'état frais et à l'état durci, les caractéristiques du béton autoplaçant à base de fibres plastique et de verre nécessitent de définir le corps d'épreuve et d'en mesurer la quantité. Spécifique aux matériaux et aux techniques d'essai. Les différents tests réalisés dans ce travail sont:

La caractérisation des matériaux s'est faite sur un mortier et trois types de béton :

**MAP** : mortier autoplaçant témoin sans fibres

**BAPT** : béton autoplaçant témoin sans fibres

**BAPFP** : béton autoplaçant de fibres plastiques

**BAPFPV**: béton autoplaçant de fibres plastiques et fibre de verres.

Cette étude permet la comparaison des résultats obtenus après la réalisation d'essais sur béton

frais et sur béton durci.

**Essais sur béton frais**

- Essai d'étalement Slump Flow
- Essai d'entonnoir V-Funnel
- Essai de la boite en L-Box
- Essai de stabilité au tamis

**Essais sur béton durci**

- Essai de compression sur éprouvettes cubiques 10x10x10 cm
- Essai de compression sur éprouvette cylindrique 16x32 cm pour 28 jours
- Essai de module d'élasticité sur éprouvette cylindrique 16x32 cm pour 28 jours
- Essai de traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm
- Absorption d'eau par capillarité
- Retrait 7x7x28 cm
- Gonflement 7x7x28 cm

- Essais sur mortier frais
- Essai d'étalonnement
- T 50

# II.2 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS

## II.2.1 Ciment (Annex A)

Le ciment utilisé pour l'ensemble des compositions est un ciment portland composé (CPJ CEM II - 42,5) obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts (gypse et calcaire) conforme à la norme algérienne NA 442, provenant de la cimenterie de M'sila du groupe LAFARGE.

| **Élément** | **%** |
|---|---|
| **SiO2** | **16,80** |
| **Al2O3** | **4,46** |
| **Fe2O3** | **2,94** |
| **CaO** | **58,83** |
| **MgO** | **1,68** |
| **SO3** | **2,35** |
| **K2O** | **0,60** |
| **Na2O** | **0,03** |
| **P2O5** | **0,15** |
| **TiO2** | **0,22** |
| **P.A.F** | **11,74** |
| **Total** | **100** |

**Tableau II.1 :** Composition chimique du ciment CEM II 42,5.

| | |
|---|---|
| Consistance normale | 28,2 % |
| Début de prise (Dp) | 155 mn |
| Fin de prise (Fp) | 280 mn |
| Masse spécifique | 3,02 g/cm3 |
| Surface spécifique (SSB) | 3995 cm2/g |

**Tableau II.2 :** Caractéristiques physiques du ciment CEM II 42,5.

| Minéraux | % |
|---|---|
| C2S | 12-18 |
| C3S | 58-64 |
| C3A | 6-8 |
| C4AF | 10-12 |

**Tableau II.3 :** Composition minéralogique du ciment CEM II 42,5.




**Figure II.1 :** Le ciment utilisé (Annexe A)

### II.2.2 Granulats

#### II.2.2.1 Sable

Le sable utilisé est un sable moyen d'OUED SOUF en Algérie. La ccarracterisation de ce sable est comme suite :

**A. Analyse granulométrique du sable : norme [NFP18-304]**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la taille et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains qui composent l'échantillon. La répartition pondérale des particules d'agrégats en fonction de leur poids peut déterminer leur continuité.

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus Cumulés (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât cumulé (%) |
|---|---|---|---|---|
| **5,00** | 5,1 | 5,1 | 0,51 | 99,49 |
| **2,5** | 18,3 | 23,4 | 2,34 | 97,66 |
| **1,25** | 62,5 | 85,9 | 8,59 | 91,41 |
| **0,63** | 334 | 419,9 | 41,99 | 58,01 |
| **0,315** | 439,4 | 859,3 | 85,93 | 14,07 |
| **0,16** | 107,4 | 966,7 | 96,67 | 3,33 |
| **0,08** | 25,7 | 992,4 | 99,24 | 0,76 |

**Tableau II.4:** Analyse granulométrique du sable de OUED SOUF

**B. Module de finesse :**

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumules des tamis de mailles : [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 et 5mm] sur 100 et calculé par la relation suivante :

Mf=Σ Rc/100

Ou : Rc: refus cumulé

## Mf = 2,33

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

- $2.2 \leq MF \leq 2,8$

Le sable utilisé est considère comme sable moyenne.

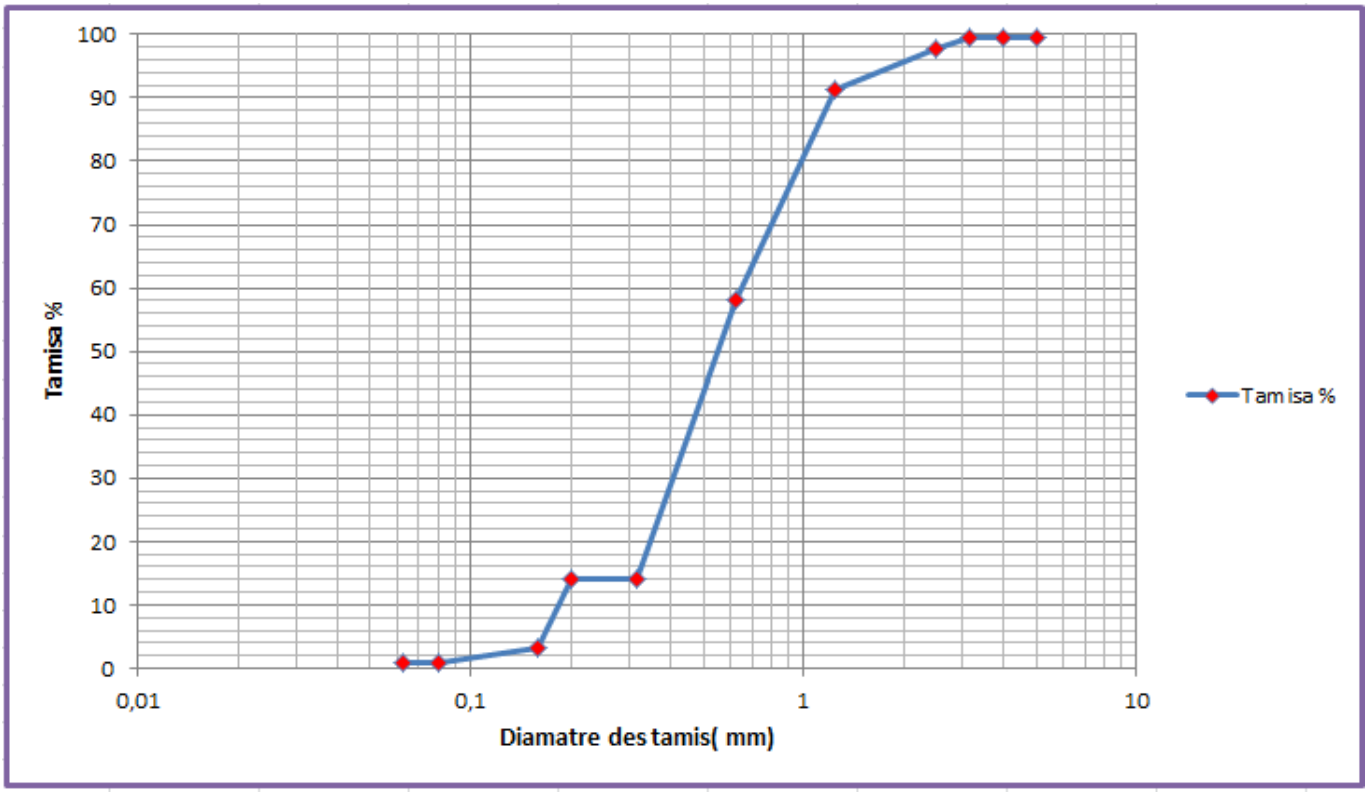



**Figure II.2 :** Courbes granulométriques de sable

**Caractéristiques physiques du sable utilisé :**

| Caractéristiques | Résultats | Normes |
|---|---|---|
| **Masse volumique apparente.** | 1588 Kg/m3 | NF P 18-555 |
| **Masse volumique absolue.** | 2654 Kg/m3 | NF P 18-555 |
| **Taux d'absorption d'eau.** | 0.5 % | NF P 18-555 |
| **E S V** | 94.36 % | NF 18-598 |
| **E S P** | 89.43 % | NF 18-598 |

**Tableau II.5 :** Caractéristiques physiques du sable

### II.2.2.2 Graviers.

Au phase bibliographique, nous avons montré que pour éviter tout risque de blocage, le Dmax est compris entre 10 et 20 mm, donc la taille maximale du gravier est limitée à 15 mm. Nous avons utilisé le gravier de **Hanacha :**

- Fraction 3/8.
- Fraction 8/15.



**Figure II.3 :** Gravier de Hanacha 3/8.



**Figure II.4 :** Gravier Hanacha 8/15.

#### A. Gravier 3/8

| Caractéristiques | Fraction 3/8 | Normes |
|---|---|---|
| **Masse volumique absolue (Kg/m3)** | 2557 | NF EN 1097-6 |
| **Masse volumique apparente (Kg/m3)** | 1426 | NF EN 1097-6 |
| **Taux d'absorption d'eau (%)** | 2,30 | NF EN 1097-6 |
| **Résistance aux chocs (Los-Angeles)** | 26,18 | NF EN 1097-2 |

**Tableau II.6 :** Caractéristiques physiques du gravier 3/8.

| Tamis (m) | Refus Cumulés (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât cumulé (%) |
|---|---|---|---|
| **10** | 00 | 00 | 100 |
| **8** | 185 | 9,25 | 90,75 |
| **6.3** | 70,8 | 35,4 | 64,6 |
| **5** | 1337 | 66,9 | 33,1 |
| **2,5** | 1957 | 97,85 | 2,15 |
| **1,25** | 1974 | 98,7 | 1,3 |
| **0,63** | 1979 | 98,95 | 1,05 |
| **0,315** | 1981 | 99,05 | 0,95 |
| **0.16** | 1985 | 99,25 | 0,75 |

**Tableau II.7 :** Analyse granulométrique du gravier 3/8.

**B. Gravier 8/15**

| Caractéristiques | Fraction 8/15 | Normes |
|---|---|---|
| **Masse volumique absolue (Kg/m3)** | 2586 | NF EN 1097-6 |
| **Masse volumique apparente (g/cm3)** | 1410 | NF EN 1097-6 |
| **Taux d'absorption d'eau (%)** | 2,5 | NF EN 1097-6 |
| **Résistance aux chocs (Los-Angeles)** | 24,10 | NF EN 1097-2 |

**Tableau II.8 :** Caractéristiques physiques du gravier 8/15.

| Tamis (m) | Refus Cumulés (g) | Refus cumulé (%) | Tamisât cumulé (%) |
|---|---|---|---|
| **20** | 00 | 00 | 100 |
| **16** | 479 | 15,96 | 84,04 |
| **12.5** | 1361 | 45.63 | 54,64 |
| **10** | 2173 | 72,43 | 27,57 |
| **8** | 2786 | 92,86 | 7,14 |
| **6.3** | 2918 | 97;26 | 2,74 |
| **5** | 2944 | 98,13 | 1,87 |
| **2,5** | 2965 | 98,83 | 1,17 |

**Tableau II.9 :** Analyse granulométrique du gravier 3/15.

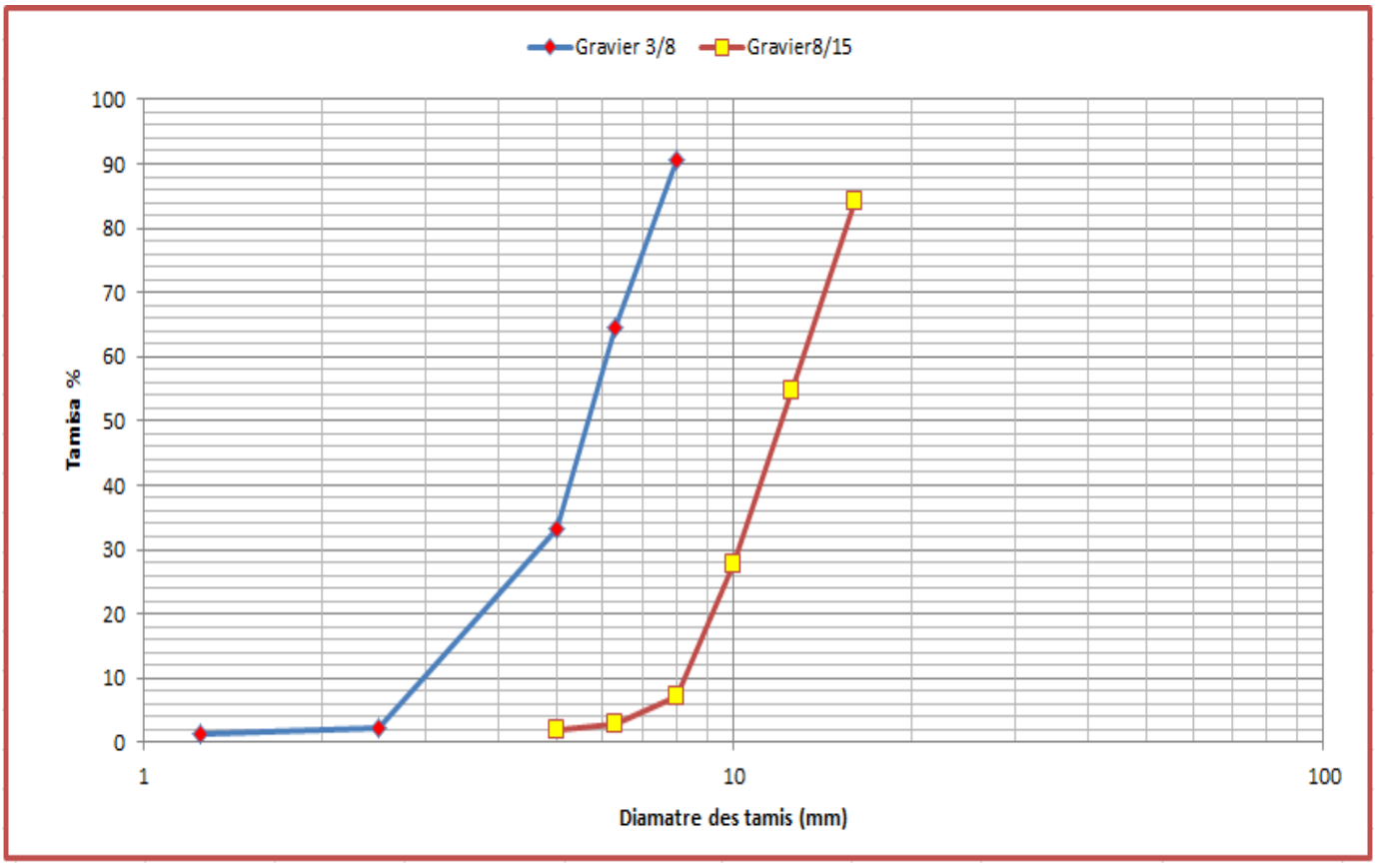



**Figure II.5 :** Courbes granulométriques des granulats.

**II.2.3 Eau de gâchage :** L'eau utilisée est une eau potable (de robinet).

**II.2.4 Super plastifiant (Annex B )**

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération fabriqué par la société Granitex-NP et commercialisé sous le nom suivant : **MEDAFLOW 30;** Il est à base de polycarboxylates d'ether (PC), sa plage normale D'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment **[96]**

Ses caractéristiques sont :

- Aspect …….. Liquide
- Couleur ……... Brai clair
- PH …… 6 – 6.5
- Densité …… 1.07 ± 0.01
- Teneur en chlore …… < 0.1 g/l
- Extrait sec …….. 30




**Figure II.6 :** MEDAFLOW 30

**II.2.5 Fibres plastique**

Ce sont des fibres de forme rectilignes, ils sont obtenus par le recyclage des déchets plastiques (PET). On prépare les fibres pour obtenir une longueur de 4 cm de longueur, Nous avons incorporé ces fibres dans le béton par addition par rapport au volume du béton avec des pourcentages de 0.3 %, 0,5 %.



**Figure II.7-** Fibres plastiques utilisés

### II.2.6 Granulats de verre

Ce sont des granulats fin de type sableux obtenus par le recyclage des déchets de verres (bouteille). Dans notre étude, des bouteilles de verre ont été collectées, bien lavées, séchées, concassées et puits broyées pour avoir un sable de verre tamisées a travers un tamis de 0.5 mm. Ce sable de verre est destiné a etre substitué au sable naturel avec des pourcentages massiques de 5 %, 10 %, 15 % ,20 % ,25% ,30%.

## II.3 La Formulation du béton autoplaçant

### II.3.1 formulation du mortier

Dans le BAP, la phase du mortier est une phase très importante car elle fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, la viscosité et la mobilité du béton ainsi que la stabilité globale du béton.

Le béton et son mortier correspondant présentent les mêmes propriétés rhéologiques, tels qu'un faible seuil de cisaillement pour assurer l'écoulement sous le seul effet de la gravité et une viscosité plastique suffisante, afin d'assurer une bonne résistance à la ségrégation .

Pour la formulation du mortier autoplaçant, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, le rapport eau/ciment (E/C) et le rapport Superplastifiant/Ciment (Sp/C) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport Sable/Mortier et du rapport Sp/C est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre 270 mm ≤ d ≤ 330 mm **[97]**.

### II.3.1.1 Rapport Eau/Ciment (E/C)

Les essais préliminaires ont montré qu'il faut aller jusqu'au rapport 0,40 afin d'avoir un mortier autoplaçant satisfaisant ayant un étalement supérieur à 270 mm surtout dans le cas de faibles dosages en superplastifiant.

Pour tous les essais de mortier nous avons fixé le rapport eau/ciment à 0,40.

### II.3.1.2 Rapport Sable/Mortier (S/M)

L'optimisation du rapport Sable/Mortier consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour assurer par la suite de bonnes caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et durci. Le principe de la méthode consiste à rechercher la composition optimale pour les rapports Sable/Mortier de 0.40, 0.45 et 0.50 tout en faisant varier le rapport superplastifiant/ciment (Sp/C),

D'après les essais préliminaires qui ont été faits, on a choisi un rapport S/M=0,45 afin d'avoir un mortier autoplaçant satisfaisant ayant un étalement supérieur à 270 mm.

### II.3.1.3 Variation du rapport Superplastifiant/Ciment (Sp/C)

Afin d'obtenir un mortier autoplaçant avec des rapports E/C et S/M fixes, Nous avons effectué beaucoup d'essais préliminaires avec un Sp/C variable ajusté par l'essai d'étalement dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre 270 mm ≤ d ≤ 330 mm. **[97]**

| Composantes | SP(%) | E/C | S/M | Ciment (g) | Sable (g) | Eau 01 (g) | Eau 02 (g) | Adjuvent (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MAP 1 | 0.75 | 0.4 | 0.45 | 989.51 | 1552.6 | 278.9 | 119.5 | 7.42 |

**Tableau II.10:** Composition de mortier obtenus.

### II.3.2 Formulation du Béton

En suivant la procédure d'exécution de la méthode générale, on remarquera que l'étape des essais sur mortier est une étape primordiale car elle permet de fixer les rapports E/C (eau/ciment), S/M (sable/mortier) ainsi que Sp/C (superplastifiant/ciment). Du moment que le mortier, dans les bétons autoplaçants, occupe un volume important dans le mélange, les résultats des essais sur mortier seront concluants. A étape suivante, on cherchera la formulation optimale du BAP en se basant sur les résultats des essais sur mortier, si nécessaire les rapports surtout E/C et Sp/C seront ajustés afin d'aboutir aux résultats

adéquats pour un bon étalement sans ségrégation ni ressuage. Une fois que les rapports seront déterminés, on procèdera aux différents essais sur béton frais et sur béton durci.

### II.3.2.1 Fixation des rapports Sable/Mortier (S/M) et Eau/Ciment (E/C)

Afin de minimiser le nombre de variables pour le béton autoplaçant, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe les deux rapports S/M et E/C trouvés lors des essais effectués sur le mortier, et chercher la meilleure formulation du BAP de référence en ajustant le rapport Sp/C.

### II.3.2.2 Fixation du rapport Superplastifiant/Ciment (Sp/C)

Comme point de départ, on prendra le résultat des essais sur mortiers, du rapport Sp/C. Il suffit de quelques mesures d'étalement (au cône d'Abrams), pour trouver le meilleur rapport Sp/C donnant un bon béton autoplaçant sans ségrégation ni ressuage. Une fois que le BAP est obtenu on procèdera à tous les essais sur béton frais. Le tableau II.10 présente les différentes compositions des bétons confectionnés. Ces bétons contiennent des gros granulats de diamètre maximum 15 mm.

Le tableau suivant presente les different formulation des BAP étidiées dans un volume de 33L de béton

| BAP | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|---|---|
| E /C | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0,4 |
| S/M | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0,45 |
| SP (%) | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| Ciment (kg) | 13,879 | 13,879 | 13,879 | 13,879 |
| Sable (kg) | 21,145 | 21,145 | 21,145 | 23,788 |
| Gravier 3/8 (kg) | 8,019 | 8,019 | 8,019 | 8,019 |
| Gravier 8/15 (kg) | 16.185 | 16.185 | 16.185 | 16.185 |
| Eau 1 (kg) | 4,334 | 4,327 | 4,320 | 4,326 |
| Eau 2 (kg) | 1,857 | 1,854 | 1,851 | 1,854 |
| Superplastifiant (kg) | 0,09 | 0,111 | 0,124 | 0,131 |

**Tableau II.11:** Les compositions de déférents formulation de BAP étudies dans 33l de béton.

Le tableau suivant presente les different formulation des BAPF étidiées dans un volume de 33L de béton.

| Formulation | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|---|---|
| **Ciment (kg)** | 13,879 | 13,879 | 13,879 | 13,879 |
| **Sable (kg)** | 23,788 | 23,788 | 23,788 | 23,788 |
| **Gravier 3/8 (kg)** | 8,019 | 8,019 | 8,019 | 8,019 |
| **Gravier 8/15 (kg)** | 16.185 | 16.185 | 16.185 | 16.185 |
| **Eau 1 (kg)** | 4,326 | 4,326 | 4,312 | 4,319 |
| **Eau 2 (kg)** | 1,854 | 1,854 | 1,848 | 1,851 |
| **SP (kg)** | 0,131 | 0,131 | 0,159 | 0,145 |
| **E/C** | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| **S/M** | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| **SP (%)** | 0,95 | 0,95 | 1,15 | 1,05 |
| **Fibre (%)** | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |

**Tableau II.12:** different formulation des BAPF étidiées dans un volume de 33L de béton

Le tableau suivant presente les different compositions des béton confectionnés dans cette etude .

| Formulation | BAPT | BAPF |
|---|---|---|
| **Ciment (kg)** | 13,879 | 13,879 |
| **Sable (kg)** | 23,788 | 23,788 |
| **Gravier 3/8 (kg)** | 8,019 | 8,019 |
| **Gravier 8/15 (kg)** | 16.185 | 16.185 |
| **Eau 1 (kg)** | 4,326 | 4,326 |
| **Eau 2 (kg)** | 1,854 | 1,854 |
| **SP (kg)** | 0,131 | 0,131 |
| **E/C** | 0,4 | 0,4 |
| **S/M** | 0,45 | 0,45 |
| **SP (%)** | 0,95 | 1,05 |
| **Fibre (%)** | 0,5 | 0,3 |

**Tableau II.13:** compositions de la formulation de BAP adoptée

## II.4 Techniques expérimentales

Nous présenterons les méthodes expérimentales effectuées sur les différents échantillons réalisés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur.

les BAP et BAPF ayons La même séquence de malaxage. Seules, les fibres ont été absentes du mélange de BAP.

### II.4.1 Procédure de malaxage Pour le mortier

Plusieurs auteurs décrivent la méthode de malaxage dans le but de couvrir la surface de tous les agrégats par la pâte de ciment et d'assurer le mélange le plus homogène possible des différents constituants. Dans nos essais nous avons opté pour la proposition de Domone et Jin **[97]** qui s'articulé sur les étapes suivantes :

- Malaxer à sec le ciment et le sable pendant environ 1 minute afin d'homogénéiser le mélange (on a utilisé un malaxeur à mortier de capacité de 5 litres) ;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 60% Eau) ;
- Ajouter pendant 1 minute le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 40% Eau) mélangé avec le superplastifiant ;
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier.



**Figure II.8 :** Malaxeur à mortier.

### II.4.2 Procédure de malaxage Pour le béton

La séquence de mélange et la composition du béton jouent un rôle important dans l'atteinte d'hydratation correcte du béton souhaitée. Une bonne hydratation se traduit par un béton efficace et durable.

Le mélange est réalisé dans un malaxeur à béton d'une capacité de 40 litres. Selon les caractéristiques requises et la composition du béton, l'auteur suit la séquence suivante.

Pour notre cas, la séquence suivie est celle décrite dans la figure II.9, elle suit les étapes suivantes :

- Calculez la quantité effective d'eau que nous mettrons dans la bétonnière. Ce calcul Considérant l'eau contenue dans les granulats grossiers et le sable, et Comprendre chaque type de coefficient d'absorption ;
- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant (Annexe C) ;
- Malaxer le sable, ciment et gravier (3/8 et 8/15) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange ;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) ;
- jouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) ;
- Malaxer pendant 5 minutes et introduire les fibres métalliques qui sont mouillées précédemment, progressivement en pluie au mélange ;
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes ;
- Malaxer pendant 30 secondes.



**Figure II.9 :** Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré

### II.4.3 Essais sur mortier frais

#### II.4.3.1 Essai d'étalement au Mini-Cône

L'essai consiste à remplir un moule tronconique de mortier autoplaçant placé sur une plaque métallique lisse et humidifiée, une fois le moule soulevé, le mortier sort en formant une galette qui s'élargit sous son propre poids, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue. Pour un bon mortier autoplaçant on doit avoir un diamètre d'étalement compris entre 270 mm et 330 mm, et il ne doit présenter ni ségrégation ni ressuage, ces deux derniers paramètres peuvent être détectée visuellement.



**Figure II.10 :** Développement de l'essai d'étalement pour mortier.

### II.4.4 Essais sur béton frais

#### II.4.4.1 Essais d'étalement et T50

Le test comprend la détermination de la capacité du béton à se déformer sous son propre poids. Face à la friction. Il s'agit d'un test standard pour évaluer la déformabilité du béton autocompactant.

**A. Matériel nécessaire :**

- Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de côté et graduée à un diamètre de 50 cm (pour mesurer le T50);
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa partie basse afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur ;
- Chronomètre ;
- Mètre ou réglet de 90cm ;

- Vérifier visuellement les signes de ségrégation de béton (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

**B. Mode opératoire :**

- Mouillez la surface de la plaque d'impression (utilisez un chiffon pour enlever l'excès d'eau);
- Placer le cône Abrams sur la planche et le centrer avec un entonnoir sur le dessus du cône.
- Obtenir un échantillon représentatif et spécifique;
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône ;
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire à l'aide d'une truelle ;
- Utilisez deux poignées pour soulever le cône verticalement;
- Lancer le chronomètre dès le soulèvement du cône jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle de 50 cm gradué sue la plaque, cette mesure c'est le $T_{50}$ ;
- Une fois le béton étalé sur la dalle, le diamètre final est mesuré à deux Côté perpendiculaires, le résultat est exprimé comme la moyenne de deux valeurs obtenir.



**Figure II. 11 :** Protocole de l'essai d'étalement et T50

### II.4.4.2 Essai d'entonnoir en V (V-funnel) :

Cet essai permet d'estimer le temps de vidange de béton sous son propre poids. Le temps mesuré indique la fluidité et la capacité de béton a passé dans des orifices qui sont petites (capacité de passage / blocage).

**A. Matériel nécessaire :**

- Entonnoir en V (V-funnel) dont les dimensions sont indiquées dans la (figure II.12)
- Chronomètre ;
- Un seau de capacité de 12 litres.

**B. Mode opératoire :**

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante: l'entonnoir dont les dimensions sont définies à (la figure II.13), est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Dans la littérature scientifique, ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du BAP. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le béton BAP.

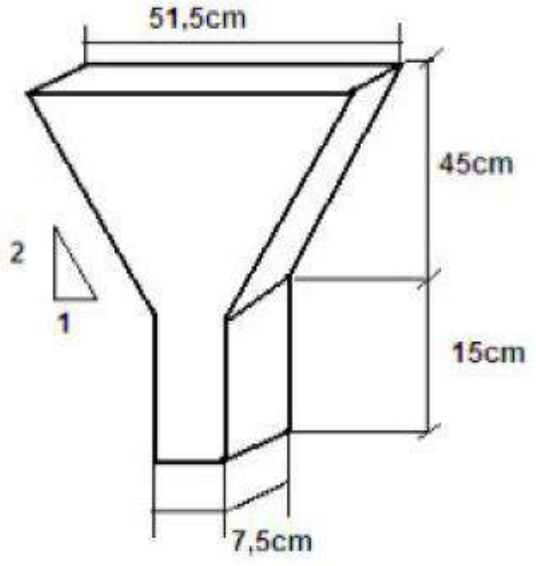



**Figure II.12 :** Dimensions de l'entonnoir en V (V-funnel).



**Figure II.13:** Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

### II.4.4.3 Essai de stabilité au tamis :

Permet de tester la ségrégation du mélange frais.

**A. Matériel nécessaire :**

Seau de 10 l muni d'un bec verseur + couvercle.

Tamis (toile à mailles carrées) 5 mm, + fond.

Bascule : précision minimale 20 g, portée minimale 20 kg.

Minuterie ou horloge.

Main-écope.

**B. Mode opératoire**.

• Prélever un échantillon de béton représentatif.

Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un seau directement à la goulotte du mixer. Le seau doit être rempli à raison d'au minimum 9 litres de béton. S'il y a lieu d'utiliser une brouette, l'échantillon global doit être ré-homogénéisé à la main-écope avant de constituer l'échantillon réduit (remplissage du seau).

• Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.

• Attendre 15 minutes.

• Peser le fond seul : Pfond.

• Peser le fond et le tamis à vide.

• Faire la tare.

• Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15 minutes.

• Verser sur le tamis une quantité de béton égale à (4,8 ± 0,2) kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.

• Noter immédiatement la masse réelle de l'échantillon de béton versé sur le tamis. Péchantillon

• Attendre 2 minutes.

• Retirer le tamis ainsi que le fond et remettre la balance à zéro.

• Peser le fond avec la laitance : Pfond +Plaitance.

• Déterminer P laitance = Pfond +Plaitance – Pfond.

• Calculer le pourcentage en masse de laitance par rapport à la masse de l'échantillon : π=(Plaisance/Péchantillon)x100.

Le résultat est arrondi à l'entier le plus proche.



**Figure II.14 :** Protocole de l'essai de stabilité au tamis.

### II.4.4.4 Essai de La Boîte En L (L-Box) :

La boite en L (figure II.15) permet de tester la mobilité du béton frais en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptable.

Le principe de cet essai, est de remplir entièrement la partie verticale de la boite, laisser le béton se reposer 1 mn puis enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferraillage, On mesure les hauteurs H1 et H2 et exprime le taux de remplissage H2/H1 (figure II.16)Notons que les distances entre les barres d'acier représentent un ferraillage standard pour des ouvrages de génie civil très ferraillés. Pour des applications moins ferraillées, il est possible d'alléger la grille en ne mettant que deux barres distantes 58mm. Selon le groupe association française de génie civil AFGC, le taux de remplissage doit être supérieur à 0,8**.** Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation, il convient donc de diminuer le rapport G/S (augmenter la quantité de sable, ou diminuer celle des graviers), ou d'augmenter le volume de la pâte en maintenant le rapport EAU/LIANT constant.

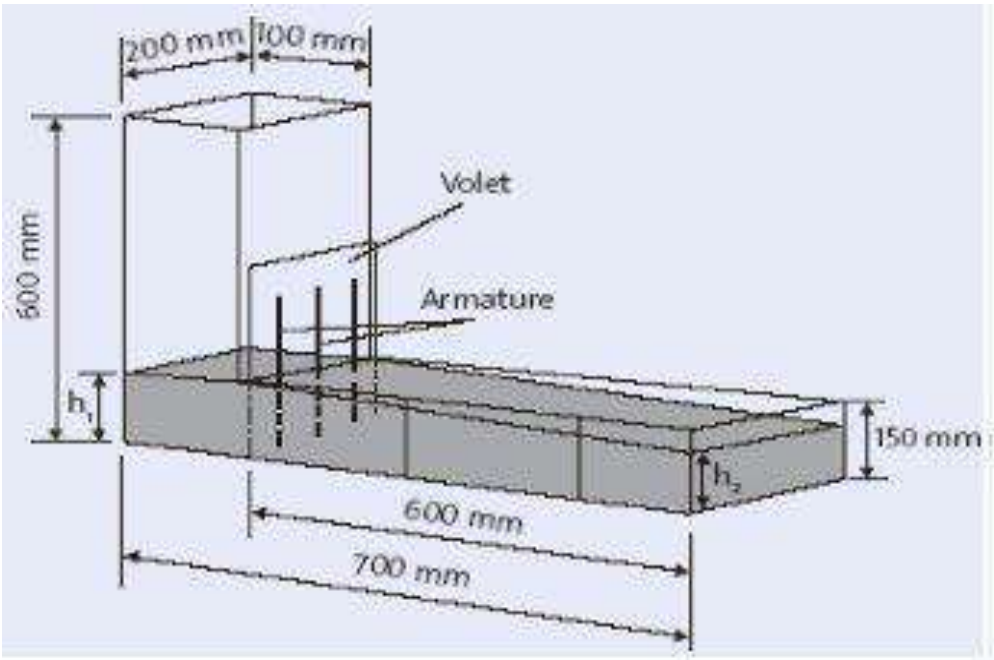



**Figure II.15:** boite en L



**Figure II.16:** Protocole de l'essai de la boîte de L-Box.

### II.4.5 Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage de béton, les moules sont conservé à une température ambiant T=20Cº, et démoulés après 24h. Après le démoulage, afin de s'assurer que le béton est correctement durci, les éprouvettes sont conservées dans le réservoir d'eau, ce qui peut empêcher la perte d'eau et assurer le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.

### II.4.6 Essais sur béton durci:

#### II.4.6.1 Résistance à la compression :

L'essai de compression (figure II.17) consiste à soumettre l'éprouvette de béton à l'écrasement par compression axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette suivant la norme NF P 18-455.

L'objectif de cet essai est de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le comportement des différents bétons.

La conduite de l'essai est la suivante :

- Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre de béton.
- Eprouvette sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture.

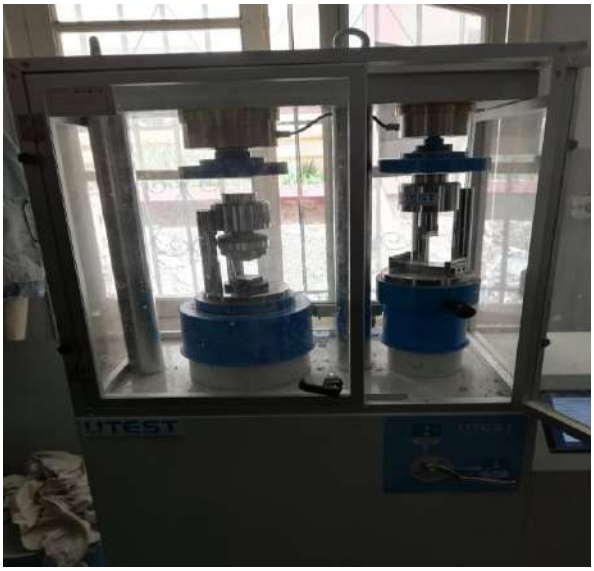



**Figure II.17:** Presse hydraulique

#### II.4.6.2 Résistance à la traction par flexion:

Les essais de flexion trois points sont réalisés à 3, 7 et 28 jours de mûrissement du béton sur des éprouvettes prismatiques 7×7×28 cm.

Les échantillons sont soumis à un moment de flexion par application d'une charge constante et continue au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs en trois points sur une presse à vérin hydraulique.

La mesure est quasi-statique et la vitesse d'asservissement du compactage est très faible, suivant la norme NF P18-408. Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge sont apprêtées et présentent des surfaces planes.

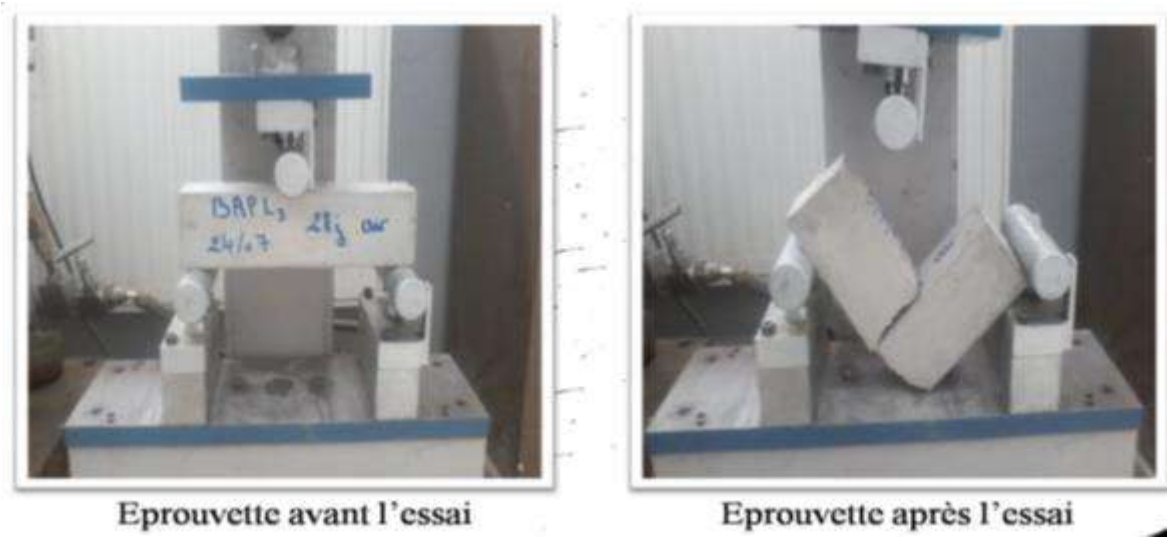



**Figure II.18:** Essai de traction par flexion.

### II.4.6.3 Retrait

#### A. Mesure du retrait sur éprouvettes de béton (NF P 15-404)

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton.

#### B. Objectif de l'essai

L'essai de retrait consiste à mesurer, en fonction du temps, la variation de longueur que provoque le béton utilisé sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7x7x28cm) de béton conservées dans l'air libre.

#### C. Conduite de l'essai

Les éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractomètre (Fig. II.19) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 28 jours) La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C.



**Figure II.19 :** Réctractomètre.

### II.4.6.4 Gonflement :

La même procédure de mesures sauf que les conservations, des éprouvettes serrées d'au

un bag d'eau de température 25 +- 2OC.

### A. Mesure des variations de longueur :

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots, etc.).Et si elle ne peut être éliminée,l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 280 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).même métal que l'appareil (Fig. II.20).



**Figure II.20 :** Etalonnage de l'appareil.

**B. Mesure des variations de masse :**

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g près l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.

**C. Expression des résultats**

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

**ΔL:** Variation de longueur par apport à la longueur origine,

**L0** : Longueur de base, prise égale à 280mm.

**ΔM:** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

**M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

## II.5 Conclusion

Le deuxième chapitre est destiné à la caractérisation des matériaux locaux utilisés, dont nous présentons les caractéristiques physiques, et mécaniques (Ciment, superplastifiant, fibres, sable et gravier.)

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons autoplaçants à l'état frais (l'étalement, boite en (L), stabilité au tamis, (V-Funnel),) et à l'état durci (résistance à la compression, résistance à la traction, retrait, gonflement) Pour reconnaitre l'effet des Fibres plastiques et de verres sur le béton Autoplaçant que ce soit à l'état frais ou durci.

les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de Médéa.

# CHAPITRE III

# RESULTATS ET INTERPRETATIONS

## III.1 Introduction

Dans ce chapitre l'ensemble des résultats trouvés dans la réalisation expérimentale sont exposés, analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la littérature.

Afin de mettre en évidence les caractéristiques à l'état frais et durci des mortiers et bétons autoplaçant fibré à base déférente type de ciment notre étude est divisée en trois parties :

- La première étape consiste à effectuer des essais sur mortier afin d'optimiser le rapport sable sur mortier (S/M) et le rapport superplastifiant sur liant (SP/L);
- La deuxième étape est consacrée aux mesures des propriétés à l'état frais à l'échelle des BAP. On passera ensuite à la discussion des résultats issus des essais tels que l'étalement, le temps d'écoulement, L-box et la ségrégation.

La troisième étape est mettre en évidence à l'interprétation issus des essais à l'état durci tels que la résistance à la compression ainsi à la traction.

## III.2 Essais relatifs au Mortier

À l'état frais, le mortier autoplaçant (MAP) est caractérisé par l'essai d'étalement au mini-cône.

### III.2.1 Essai d'étalement au Mini-Cône

Le principe vise à déterminer le dosage optimal du superplastifiant (Sp/C) capable de donner un maximum d'ouvrabilité au mortier sans ségrégation et ressuage, en étudiant la variation du l'étalement au mini-cône du mortier en fonction du dosage du superplastifiant.

Pour un bon mortier autoplaçant on doit avoir un diamètre d'étalement compris entre 270 mm et 330 mm **[97]**, et il ne doit présenter ni ségrégation ni ressuage, ces deux derniers paramètres peuvent être détectés visuellement. Le Tableau III.1 montre les résultats de l'essai d'étalement pour les mortiers.

Tableau III.1. compositions des MAP pour différentes % de SP et S/M.

| MAP | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Mélanges | | MAP1 | MAP2 | MAP3 |
| SP % | | 0,7 | 0,75 | 0,8 |
| S/M | | 0.4 | 0.4 | / |
| | | 0.45 | 0.45 | / |
| | | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Etalement | S/M=0.4 | 31.5 | 33.5 | / |
| | S/M=0.45 | 28 | 32 | / |
| | S/M=0.5 | 26 | 27 | 29 |
| Temps d'écoulement | S/M=0.4 | 2.45 | 2 | / |
| | S/M=0.45 | 2.84 | 2.5 | / |
| | S/M=0.5 | 5.6 | 5.48 | 4.31 |
| Observation Visuelle | S/M=0.4 | Mélange fluide + ressuages | Mélange fluide + ressuages et ségrégation | / |
| | S/M=0.45 | Mélange peut ferme | Mélange fluide aucun signe de ressuages et ségrégation | / |
| | S/M=0.5 | Mélange ferme | Mélange ferme | Mélange peut ferme |

D'après le tableau ci-dessus, on a constaté que plus on augmente le pourcentage du SP plus la fluidité augmente, une augmentation du dosage de SP de 0.5% mène à une augmentation de 20 mm de diamètre du mortier. Pour un dosage de 0.75% avec un S/M=0.45

le mortier présente une bonne fluidité avec un étalement de 320 mm. Avec l'utilisation des matériaux locaux Algériens, un rapport S/M égal à 0,45 est le rapport adéquat pour obtenir des mortiers très fluides, homogènes et de grande capacité de passage dans les zones les plus encombrées, en revanche pour les formulation avec un rapport S/M 0.4 et 0.5 présente des MAP n'est pas conforment aux exigence pour la formulation des BAP. Dans notre cas la sélection de formulation pour passer au BAP on choisi la formulation 2 qui contient un rapport S/M= 0.45 et un dosage en SP égale 0.75 %.

### III.3 Essais relatifs au Béton

#### III.3.1 Béton frais

Pour obtenir un béton autoplaçant renforce de fibres (BAPF), on a procédé d'incorporer les fibres plastiques, tout en assurant la fluidité, la capacité de passage, de remplissage et la résistance à la ségrégation recommandées par EFNARC **[27],** le tableau III.2 résume les différents résultats des différents mélanges de BAPF à l'état frais.

**Tableau III.2:** Propriétés physiques des BAPF à l'état frais.

| Béton formulé | Etalement (mm) | V-funnel (Sec) | L-box (%) | Stabilité au tamis (%) | Ajustement SP (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Formulation1(F1) | 575 | 7 | 64 | 15 | 0.75 |
| Formulation1(F2) | 674 | 6 | 70 | 19 | 0.8 |
| Formulation1(F3) | 687 | 6 | 94 | 23 | 0.85 |
| Formulation1(F4) | 715 | 6 | 94 | 25 | 0.95 |
| Limite EFNARC | 550-850 | 6-12 | 80-100 | 15-30 | / |

### III.3.1.1 Essais d'étalement au cône d'Abrams

Les résultats de l'écoulement pour les différents mélanges des BAPF élaborés sont traduits en histogrammes dans la figure III.1. Les résultats montrent que les diamètres d'étalement des mélanges à base de fibre plastique sont situés entre 715 à 520mm, alors ce qui indique une faible déformabilité des BAP avec l'introduction de FP. Selon les limites et la classification des BAP on peut voire aussi à travers la figure que, les valeurs d'étalement ne sont pas acceptables par les recommandations EFNARC **[27]**, et sont classées hors la catégorie (SF1-SF3) pour le BAP avec 0.5% de FP, l'écoulement des BAPFP est affecté par la fraction volumique et la longueur des fibres (40mm), plus qu'on augmente le pourcentage ,plus que l'écoulement diminue**[98-100]**, ce qui donnent un mélange n'est pas homogène, un étalement n'est pas circulaire, cela veut dire que l'écoulement est contracté selon une ou plusieurs directions. Samana et Dahmani **[101]** ont étudié les propriétés à l'état frais du BAP à base de fibre plastique et ont noté que l'étalement diminuait à mesure que la quantité de fibre et la longueur augmentait, est convergé plus rapidement vers le seuil inférieur. Les meilleurs valeurs d'étalement se sont produits lorsque en ajoutant une fraction volumique faible avec petite longueur.

Dans ce travail les limites de EFNARC **[27]** sont respectés (fluidité dans le domaine ciblé) pour toutes les familles des BAP pour faciliter la comparaison entre eux, Les figure III.2 III.3 représente la variation de dosage en SP pour avoir un étalement selon les critères des BAP.

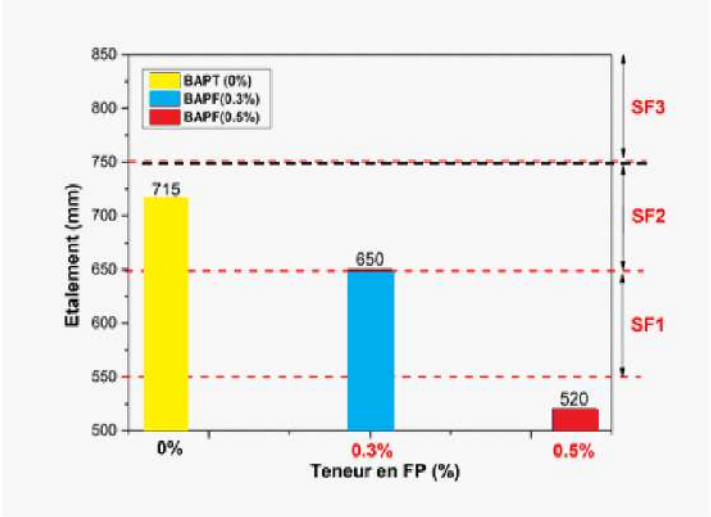



**Figure III.1** Etalement des BAPF avec SP constant

D'apprêt ces figures on remarque que plus on augmente le % de fibre plus le dosage en SP augmente, pour donner un bon BAPF avec des valeurs d'étalement situés entre 715 à 725 mm, ce qui conforme à la recommandation EFNARC (SF2), cette augmentation de dosage en SP est principalement du à la masse des fibres additionner au mélange.

Toutefois, il y a eu une légère augmentation de l'écoulement des mélanges de BAP à base de 0.5% de FP par rapport à ceux avec un de 0.3 %; cela était dû à la différence du dosage de SP car il faut noter que chaque pourcentage de FP exige la quantité de SP nécessaire pour atteindre la fluidité visée pour obtenir des BAP sans ségrégation et sans ressuage.

Bilodeau et al **[102]** et shafigh et al **[103]** ont trouvé une baisse de fluidité avec l'augmentation de la longueur des fibres, ce phénomène est dû aux perturbations causées par les fibres sur la compacité totale du système.

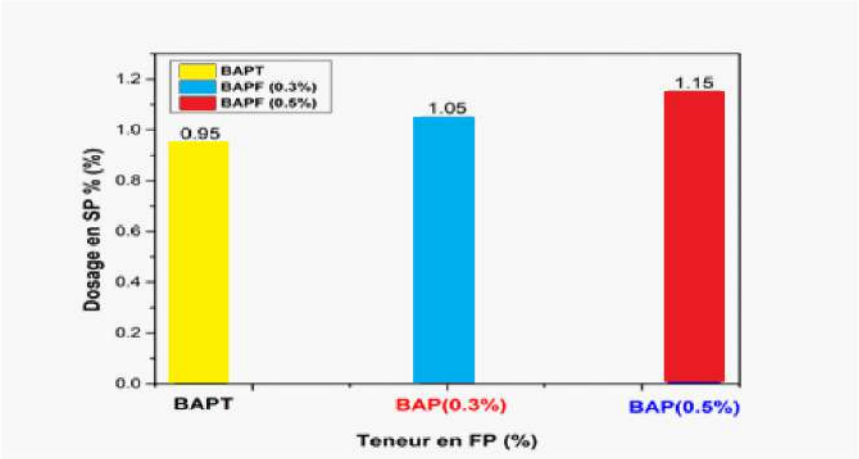



**Figure III.2:** Dosage en SP en function de FP.

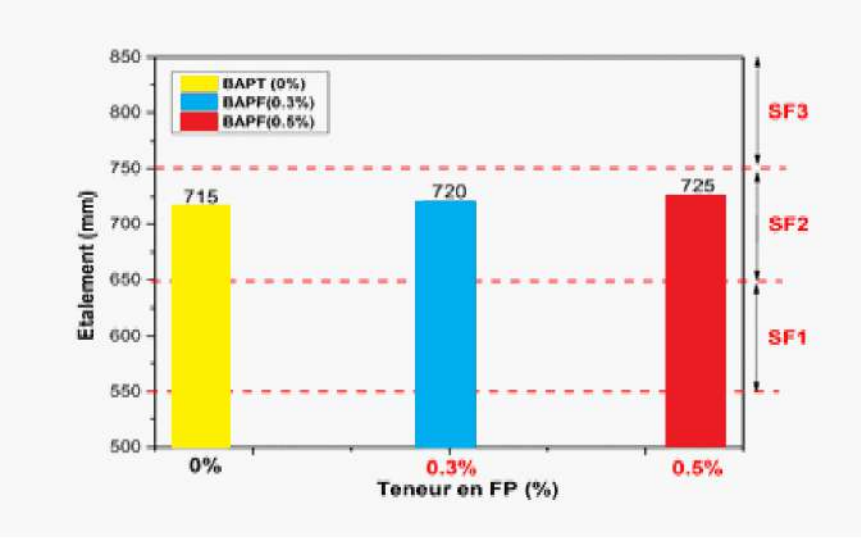



**Figure III.3:** Etalement des BAPF avec SP variable

### III.3.1.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel

La figure III.4 montre la variation du temps d'écoulement pour différents mélanges des BAP étudiés. Selon les résultats de l'essai de l'entonnoir en V, tous les mélanges des BAP étaient très stables parce que leur temps d'écoulement était inférieur à la valeur recommandée par EFNARC **[27]**, Ce qui indique des bons indices de viscosités et résistances à la ségrégation. On peut noter d'après la figure III.4 que l'ajout de fibre augmente le temps d'écoulement des BAP par rapport au BAPT, mais toujours les temps d'écoulement enregistrés répondent aux propriétés des BAP par l'augmentation de dosage en SP. On peut dire que, est dû à la formation d'oursins (amas de fibres entremêlées) est évoluée**[104]**, cette évolution perturbe l'écoulement et par conséquence augmente la viscosité qui provoque d'éventuelles une ségrégation et blocage au niveau des armatures  Ces résultats seront confirmés par la suite à travers l'essai de la boite en L (L-BOX). À titre d'exemple, le mélange témoin BAPT  et le mélange avec 0.3% de fibre ont montré la valeur inférieure du temps d'écoulement  par rapport à 0.5% qui est bien inférieure à 8 s, qui est indiquant la viscosité la plus faible avec un dosage en SP s'est avéré être le minimum.

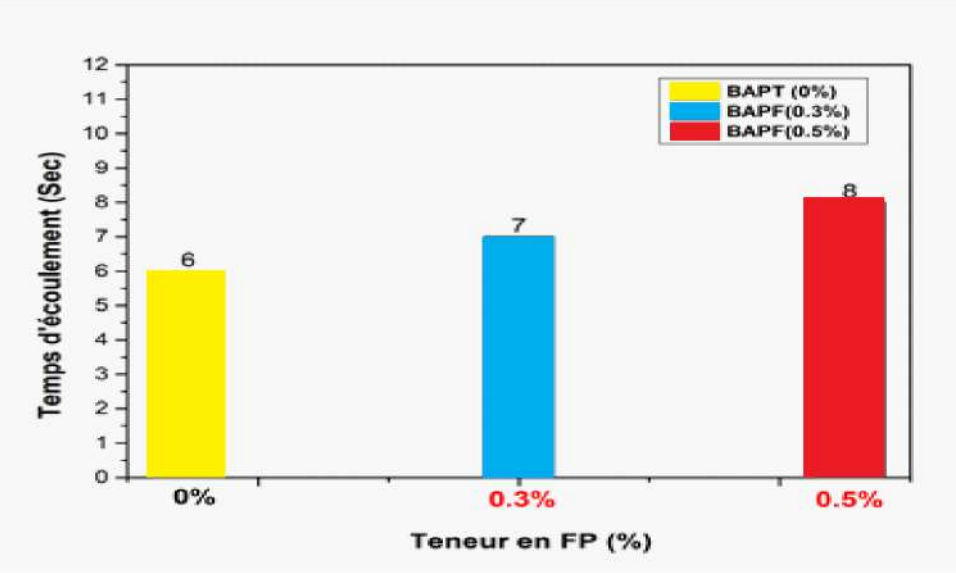



**Figure III.4:** Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable

### III.3.1.3 Capacité de passage à travers L-BOX

La variation du rapport $H_2/H_1$ en fonction du pourcentage de FP est représentée sur les figures III.5 et III.6. En ce qui concerne la capacité de remplissage estimée par le rapport $H_2/H_1$ mesuré par le test de la boîte en L et d'apprêt la figure III.5 on remarque que l'ajout de fibre affecte négativement sur la capacité de remplissage. Le rapport du blocage est situé entre 94%,64% et 45%, dont le plus faible rapport était 45% pour le BAPF avec 0.3% de FP, donc la valeur la plus important est correspond au BAPT. Cela est principalement affecter par la préséance des fibres qui crée un blocage au niveau des armature de L-box, ces valeurs n'est pas satisfaire à la valeur recommandé par le EFNARC **[27]** une augmentation de dosage de SP est nécessaire.

En revanche tous les groupes des BAP ont donné une bonne capacité de remplissage, mobilité, et passage à travers les zones fortement confinées (figure III.6) avec l'augmentation de dosage en SP, de plus aucun blocage n'était remarqué dans ce cas.

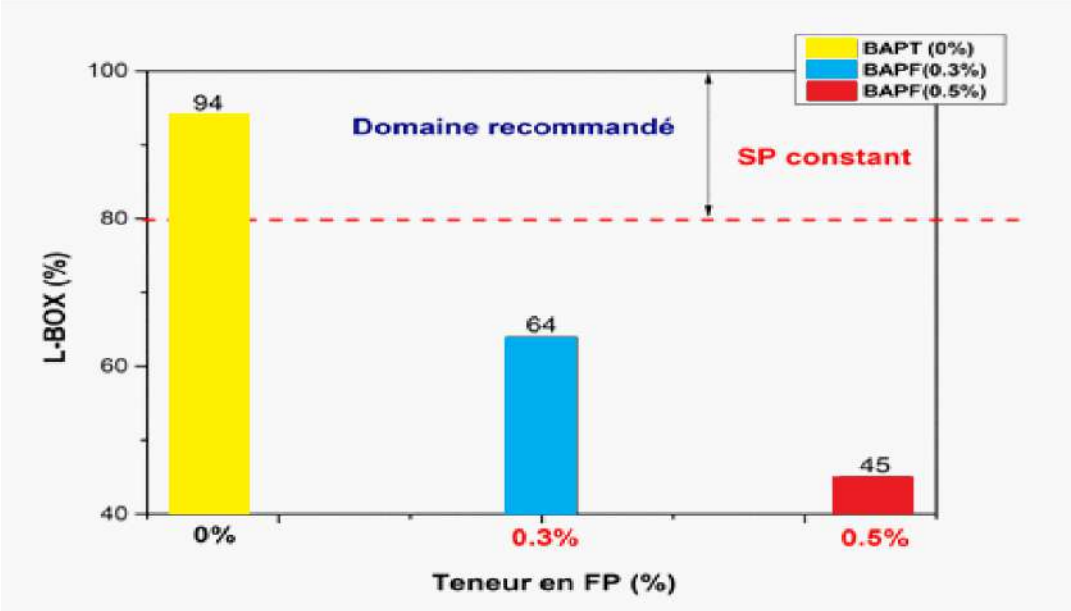



**Figure III.5:** L-BOX des BAPF avec SP constant

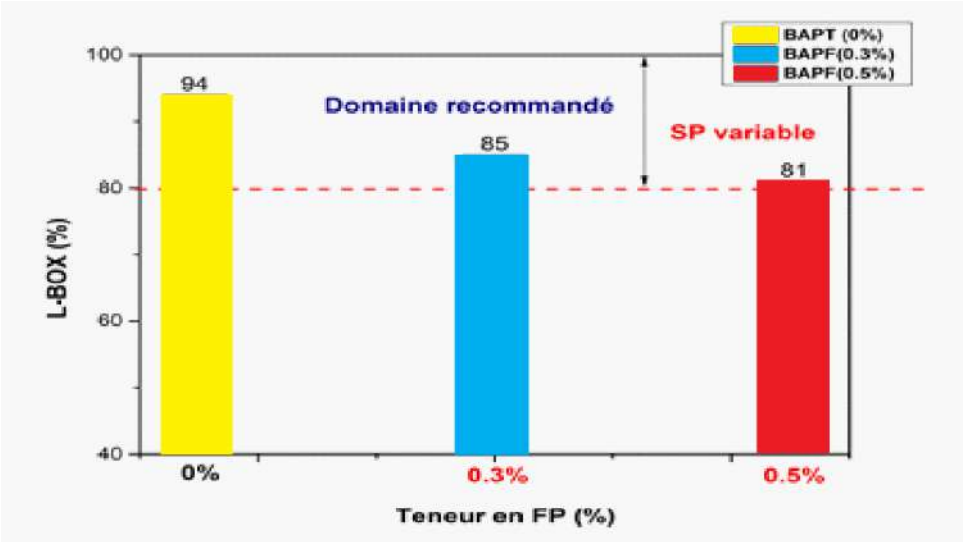



**Figure III.6:** L-BOX des BAPF avec SP variable

### III.3.1.4 Stabilité au tamis

Les résultats de stabilité au tamis sont traduits en histogrammes sur la figure III.7. On peut remarque à travers les résultats que l'augmentation des FP engendre à l'augmentation de la stabilité des mélange. Plusieurs étude ont constate que l'incorporation des fibres participent à la diminution de la viscosité des BAP par le collage des fibres au niveau des mailles de tamis. Cette augmentation de risque de ségrégation est peut liée à la déférence de dosage en SP, en outre en signalant que les résultats restent des comparables et au-dessous des valeurs recommandées par EFNERC. **[104]**

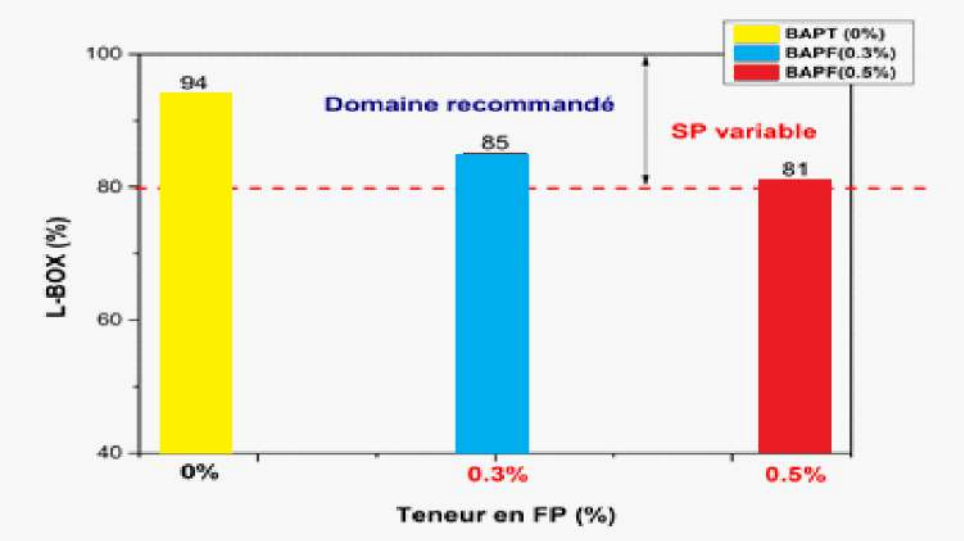



**Figure III.7:** Stabilité au tamis des BAPF

### III.3.2 Béton durci

#### III.3.2.1 Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à traction par flexion à différents âges (3, et 7) pour les différentes BAP confectionnés sont représentés dans les figures III.8. Les résultats ont révélé que la préséance des fibres dans les mélanges des BAP, donnent une amélioration de la résistance à la traction par flexion, si on compare ces bétons, on trouve que plus on augmente la fraction volumique des fibres, plus la résistance à la traction par flexion augmente. Une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et améliore la propagation des fissure ce qui améliore la résistance à la traction **[105].**

Kawamata et al. **[106]** ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliore le comportement à la flexion des bétons. Dans cette étude, les conclusions doivent être entendues dans ces limites, l'auteur ayant utilisé des fibres métalliques de longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un dosage volumique maximal en fibres de 1%.

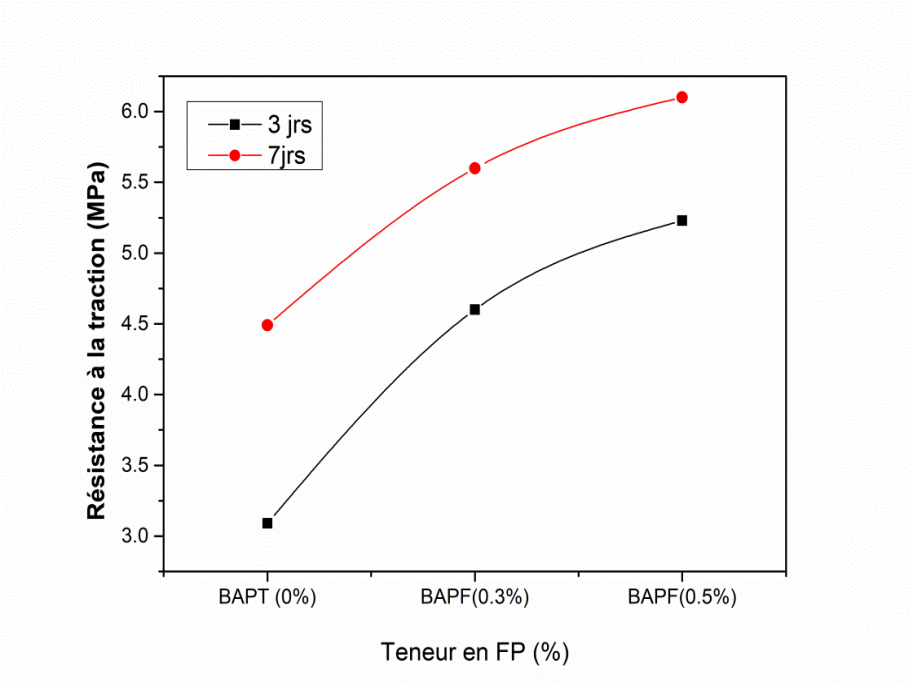



**Figure III.8:** Résistance à la traction des BAPF

### III.3.2.2 Résistance à la compression

Les résultats obtenus à 7, et 3 jours des BAPF sont donnée aux figures III.9. On a constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des fibres. on enregistre une amélioration de 6,98 % correspondant au respectivement .Cette légère amélioration est engendrée par le phénomène de confinement provoqué par la formation des oursins à l'intérieur des matrices cimentaires permettant l'augmentation de la charge ultime

Plusieurs études confirment ces résultats à savoir Pierre rossi, qui a montré que les fibres courtes ont toujours donnent des résistances à la compression supérieures à celles du béton non fibré. Par contre les fibres longues n'apportent pas d'amélioration en compression. Cependant confirment que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression.

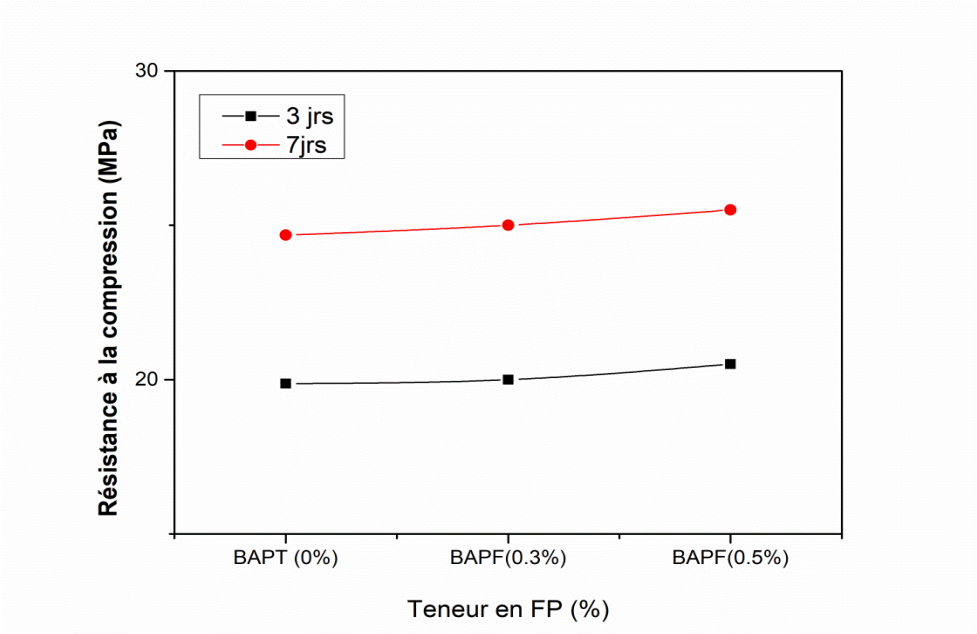



**Figure III.9:** Résistance à la compression des BAPF

## III.4 Conclusion

Cette partie a présenté les différents résultats des essais expérimentaux ainsi que leur Interprétation à l'état frais et à l'état durci des MAP et les BAP.

Pour les mortiers on a déterminé l'étalement au mini cône et les résistances mécaniques. La qualité du BAP à l'état frais a été vérifiée suivant les essais recommandés par l'AFGC **[8]** : Étalement au cône, écoulement à la boite en L, essai V-funnel et la stabilité au tamis.

A l'état durci on a déterminé les résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion.

Les résultats ont permis de conclure que la méthode Okamura pouvait être utilisée dans les Formulations du béton autoplaçant fibré.

Suivant les résultats obtenus on a choisi le BAPF de 0.3 pourcentage de fibre plastique pour la suivi de travaille.

# Conclusion Générale et recommandations

## CONCLUSIONS GENERALES

L'objectif de cette étude est d'étudier l'intérêt et l'influence des fibres plastiques et de verre sur le comportement des BAP à l'état frais et durci. A la lumière des résultats obtenus on peut conclure que

- A l'état frais

➢ Les temps d'écoulement et d'étalement sont proportionnels avec le pourcentage de fibres introduit

➢ La capacité de passage des bétons est faible

➢ La capacité de remplissage au milieu confiné est faible car elle est affectée par l'incorporation des fibres.

➢ Bonne résistance à la segregation.

## RECOMMANDATIONS

Dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre de cette recherche et sur la base des résultats importants trouvés, des travaux restent a mener dans plusieurs axes avec la valorisation de ces type des déchets plastiques (fibres plastiques) et verre à savoir:

- Etudie de l'effet du diamètre des fibres plastique sur le comportement rhéologique et mécanique des bétons autoplaçants fibrés
- Etude de l'effet d'autres formes de fibre plastique (autres que rectilignes) sur le comportement des BAP
- Etude de l'influence de de déchet de verre au tan que ajout sur le comportement des BAP
- Etude de l'influence de ces types de déchets sur d'autres types de béton (BPE, BHP, BCR, …)
- La valorisation d'autre type de déchets dans les BAP.

## REFERANCE BIBLIOGRAPHIQUES

**[1]** Hanna FARES : « propriétés mécaniques et physico-mécaniques de bétons autoplaçant exposés à une température élevée». Thèse de doctorat de l'université de Cergy-pontoise. décembre2009.

**[2]** Guide d'utilisation du béton en site maritime Benoit THAUVIN & Michel MENGUY (centre d'étude techniques maritimes et fluvial)

**[3]** Ouchi, M. (1999). self-compacting concrete development, applications and investigations Reykjavik, Iceland.

**[4]** IZUMI, I., YONEZAWA, T. IKEDA, Y., MUTA, A. (1995) "Placing 10 000 m 3 super workable concrete for guide track structure of retractablerof of Fukuoka Dome, Supplementary", 2nd CANMET \ ACI International Symposium on Advances In ConcreteTechnology, Las Vegas,

**[5]** Direction technique et commerciale béton : www.béton-vicats.Fr

**[6]** OKAMURA.H. OZAWA 1994, Self compacting concrete journal of advanced concrete technology.

**[7]** Powers, properties of fresh concrete, 1988, edition Wiley, 664 pages.

**[8]** AFGC : Groupe de travail Recommandation pour l'emploi des bétons autoplaçants, AFGC/PN Bap, Recommandations provisoires pour l'emploi des bétons autoplaçants, 63 p. Janvier 2008

**[9]** CIM Béton centre d'information sur le ciment et ces applications, Am principe Paris, Edition 2005.

**[10]** G.Dreux, J.Festa, «Nouveau Guide du Béton et Ses Constituants », 8ème Edition, Edition Eyrolles.1998.

**[11]** Sedran T., "Les bétons autonivelants - Synthèse bibliographique", Bulletin liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°169, mars-av 1995, pp. 53-60.

**[12]** FEBELCEM – Fédération de l"Industrie Cimentière Belge, « Les bétons autoplaçants, Bruxelles, août 2005

**[13]** Bethmont S. « Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des interactions granulaires » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Décembre 2005

**[14]** CHANVILLARD G, (1993), «analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées ancrées dans une matrice cimentaire», études et recherche des LPC, série ouvrages d'art.

**[15]** AGGOUNE Abd allah ; MEMOIRE de MASTER en génie civil « Evaluation de la qualité des bétons autoplaçant(BAP) fibré exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (NDT) et essai direct » Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2016 p 35 36

**[16]** HOUARI .H Formulation et Propriétés des Bétons Autoplaçants à Base de Matériaux Locaux.

**[17]** Rols S., Ambroise J. and Péra J. "Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete" Cement and Concrete Research, 1999, vol 29, pp. 261-266.

**[18]** Chopin D., « Malaxage des bétons à hautes performances et des bétons auto-plaçants – Optimisation du temps de fabrication », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Juin 2003.

**[19]** Abib Z., Thèse de Magistère en Génie Civil, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, le 06 Juillet 2006

**[20]** PH.TURCRY et A.LOUKILI, Différentes approches pour la formulation des BAP, revue française de génie civil volume 7 n°4, 2003.

**[21]** Bui V.K., Montgomery D., Hinczak I. and Turner K. "Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete", Cement and Concrete Research, 2002, vol 32, pp.1489-1496.

**[22]** Bui V.K., Akkaya Y. and Shah S.P. "Rheological Model for self-consolidating concrete", ACI Materials Journal, Novembre-Décembre 2002, vol 99, pp.549-559

**[23]** De Larrard F. "Structures granulaires et formulations des bétons", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, avril 2000.

**[24]**: De Larrard F. and Sedran T. "Mixture-proportioning of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, 2002, vol 32, pp.1699-1704.

**[25]** Jean-christophe Braquenier « Le Béton Autoplaçant ou Autocompactant », Recherche et Etude, pp14-22, Automne 2000

[**26**] SEMMANA Oualid et DAHMANI Hamza (Comportement des bétons autoplaçants A BASE DES FIBRES PLASTIQUES) juin 2014

**[27]** EFNARC « The European guidelines for self-compacting concrete » The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2005, 68p.

**[28]** Sonebi M. and Bartos P.J.M. « Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete » Materials and Structures, 2002, Vol 35, pp. 462-469.

**[29]** P. Domone, « The slump flow test for high-workability concrete", Cement and Concrete Research, vol 28. N°2, pp. 177-182, 1998.

**[30]** SCC, «Guidelines Task 9, End Product», Brite EuRam project BE 96-3801, Rational production and improved working environment through using SCC, February 2000

**[31]** BOUKNI Bariza tenue au feu des bétons autoplaçants Mémoire de magister université Mentouri Constantine décembre 2007.

**[32]** Burak Felekog¢, Selcuk Turkel, Bulent Baradan, "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete". Building and Environment 2003

**[33]** Assié S., Escadeillas G., Marchese G. and Waller V. « Durability properties of low resistance self-compacting concrete » Magazine of Concrete Research, 2006, vol 58, pp. 1–7.

**[34]** Assié et al Nassif H.H., Najm H. and Suksawang N. « Effect of pozzolanic materials and curing methods on the elastic modulus of HPC » Cement & Concrete Composites, 2005, vol 27, pp. 661–670.

**[35]** Persson B. « A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete » Cement and Concrete Research, 2001, vol 31, p. 193-198

**[36]** Burak Felekog¢, Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l'Ecole centrale de Nantes, 2004, 213 pages.

**[37]** Gram et Piiparinen S. Assié., G. Escadellas, G. Marchese. « Durability of self-compacting concrete » 3rd International Symposium on Self Compacting concrete, pp 665-662, Reykjavik, Iceland, 17-20 August 2003

**[38]** Gram H.E. and Piparinen P. "Properties of SCC – Especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance" Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 211-225.

**[39]** "Les bétons autonivelants - Synthèse bibliographique", Bulletin liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°169, mars-av 1995, pp. 53-60.

**[40]** RILEM "Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC", Edited by A. Skarendahl and O. Peterson, RILEM Publications, France, 2001.

**[41]** MAHITAVELO Zafindro Andréas Delphin, « Contribution à l'étude du béton autoplaçant incorporé de fibres de bambou », Mémoire d'Ingénieur en Matériaux, l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo Université d'Antananarivo, 23 Décembre 2013 ;

**[42]** HAOUARI H. "Contribution à l'étude du comportement du béton renforce de fibres métalliques soumis à l'action des charges maintenues et cycliques", Thèse de doctorat, INSA Lyon, France, 1993.

**[43]** BARON J. et OLLIVIER J. P. "Les bétons bases et données pour leur formulation" Edition Eyrolles, 1996. Température augmente.

**[44]** CHAALAL O. : "Contribution à l'étude de durabilité des tiges en fibres de verre comme armature à béton", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC); 199, Sept-Oct.1995.

**[45]** KRIKER A. "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climats chaud et sec", Thèse de doctorat d'état, ENP, Algérie, 2005.

**[46]** MIMOUNI M. "Les renforts fibreux utilisés dans les matériaux de construction" Algérie équipement ; 115, Sept.1994.

**[47]** BEAUDOIN J. J. "Béton renforcé de fibres" Institut de recherche en construction (IRC), Conseil National de Recherche, Canada, p. 04, 1982.

**[48]** Khenfer, M. M. Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

**[49]** Lacroix, R., Fuentes, A. et Thonier, H., Traité de béton armé, Édition Eyrolles Paris, 1982

**[50]** ROSSI P., HARROUCHE N., BELLOC A. « Méthode de composition des bétons de fibres métalliques. » Annales ITBTP, n°475. Juin – Juillet 1989. Série : BETON 266.

**[51]** BARON J., LESAGE R. « La composition du béton hydraulique, du laboratoire au chantier. » Rapport de recherche LPC, LCPC, Paris, n° 64, Décembre 1976.

**[52]** Durand G., "les bétons à base de fibres d'acier" CERILH stage26-02-1986 N° 6 p6 et Annales N°347 Février 1977 pp 48-49.

**[53]** BENYAHIA Fella et BENAISSA Youcef Renforcement du Béton Autoplaçant (BAP) par des fibres végétales, juin 2013

**[54]** ROSSI P. « Les bétons de fibres métalliques. » Presses de l'ENPC. Juin 1998.

**[55]** Youcef FRITIH Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé thèse de doctorat de l'université de Toulouse 08 Juillet 2009.

**[56]** Markovic I., Walraven J.C., Van Mier J.G.M., (2003) "Self-compacting hybrid-fibre concretemix design‖, workability and mechanical properties, 3 rd International Symposium on Self -Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Reykjavik, Iceland.

**[57]** Tolëdo, F. R.D, Ghavami, K., Englan, D. G. L, Scrivener, K., Development of vegetable fibers-mortar composites of improved durability. ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 25, p12, 2003.

**[58]** R. Narayanan et A.S. Kareem-Palanjian : Factors inuencing the workability of steel- bre reinforced concrete - parti. Concrete, (45-48), 1982.

**[59]**Groth P., (2000a) "Fibre reinforced concrete - Fracture mechanics methods applied on selfcompacting concrete and energetically modified binders", PhD -thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Luleå University of Technology

**[60]** GRÜNEWALD S, "Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete ", these de doctorat, University Darmstadt, Allemagne.

**[61]** ROSSI P, HARROUCHE N, "Mix design and mechanical behavior of some steel-fiber-reinforced concretes used in reinforced concrete structures", Materials and Structures, Vol. 23, pp. 256-266, 1990

**[62]** Grunewald S., Walraven J.C., (2001) ―Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete‖, Cement and Concrete Research vol.31, pp. 1793-1798

**[63]** Grunewald S., Walraven J.C., (2001) ―Maximum content of steel fibres in self-compacting concrete‖, proceeding of the Second International Symposium on Self - Compacting Concrete.

**[64]** Grunewald S., Walraven J.C., (2003) ―Rheological measurements on Self-Compacting fibre reinforced concrete‖, 3 rd International Symposium on Self -Compacting Concrete, 17-20August 2003, Reykjavik, Iceland.

**[65]** GRÜNEWALD S, WALRAVEN J C, " Rheological study on the workability of fiber-reinforced mortar", Second Int. Symposium on SCC, Edited by Ozawa and Ouchi, University of Tokyo, COMS Engineering Publication, pp. 127-136, 2001.

**[66]** DHONDE HB, YO MO, TCC HSU, VOGEL J, "Fresh and hardened properties of self-consolidating fiber reinforced concrete", ACI Mater J, 104:491–500, 2007.

**[67]** DING Y, LIU S, ZHANGY, THOMAS A, "The investigation on the workability of fiber cocktail reinforced self-compacting high performance concrete". Construction and Building Materials. No.22 (2008) 1462-1470.

**[68]** PETERSSON Ö, "Preliminary Mix Design - Final Report of Task 1", Brite Euram project (BE 96-3801) - Rational production and improved working environment through using SCC, Document RT1_v2.doc, 1998

**[69]** GROTH P, NEMEGEER D, " The use of steel fibers in self-compacting concrete", First Int, Symposium on SCC, Stockholm, Edited by Skarendahl and Petersson, RILEM publications PRO 7, Cachan, pp. 497-508, 1999

**[70]** TABET N. BENMOUNAH A. « Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico- mécanique des bétons autoplaçants fibres BAPF). Thèse Magister, Université de Boumerdès, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département génie des matériaux, 2012.

**[71]** Haddadou Naima, « Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre » , Thèse de Doctorat de l' UNIVERSITE M'HAMED BOUGARABOUMERDES, 2014/2015.

**[72]** Alcantara M., (2004) Béton auto-plaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC.

**[73]** Alcantara M., Mouret. M., Pons. G., Granju.J-L., (2005) "Self-compacting concretewith hybrid fiber reinforcement: workability and mechanical behaviour", 4 th InternationalSymposium on Self-Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Chicago, US

**[74]** Granju J-L., Sabathier V., Alcantara M., Pons G., Mouret M., (2004) "Hybrid fibre reinforcement of ordinary or self-compacting concrete", In: Proceedings PRO 39 of the Sixth International RILEM Symposium BEFIB, RILEM Publications, pp 1311–1320.

**[75]** Kawamata A., Mihashi H., Fukuyama H., (2003) "Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites", journal of advanced concrete technology vol.1, No.3, 283-290, November 2003

**[76]** 2007 Pons G., Mouret M., Alcantara M., Granju J.L., (2007) "Mechanical behaviour of selfcompacting concrete with hybrid fibre reinforcement", Materials and structures, vol. 40, no2, pp. 201-210

**[77]** BERRAIH MIMOUN « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre »ENSET Oran 2009

**[78]** W.H. ZACHARIASEN, the atomic arrangement in glass, journal of the American chemical society, vol.54. 1932.

**[79]** M.F. ASHBY, et MF JONES, Matériaux- propriétés et applications, paris 2eme édition, Dunod 1996.

**[80]** J. ZARZYCKI, A direct électron microscope study of glass, physic and chemistry of glass, vol.3.1962.

**[81]** H, SCHOLZE. Le verre, Nature, Structure et propriétés ; institut du verre, Paris 1980.

**[82]** Kiang Hwee Tan et all, use of ground glass as a pozzolan; Albuquergue symposiums on utilisation of waste glass in secondary products, Albuquergue, New Mexico, U.S.A 17 Septembre 2012

**[83]** Rachida IDIR « Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique » L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE Le 10 juillet 2009

**[84]** KARAMBERI, A. et MOUTSATSOU, A. (2005). Participation of coloured glass cullet in cementitious materials, Cement and Concrete Composites, vol.27, p.319–327

**[85]** PARK, S.B. et LEE, B.C. (2004). Studies on expansion properties in mortar containing, waste glass and fibers, Cement and Concrete Research, vol. 34, n°8 p.1145-1152

**[86]** SOBOLEV, K., TURKER, P., SOBOLEVA, S. et ISCIOGLU, G. (2007). Utilization of waste glass in ECO-cement: Strength properties and microstructural observations, Waste Management, vol. 27, p.971-976

**[87]** DYER, T. D. et DHIR, R. K. (2001). Chemical reactions of glass cullet used as cement component, journal of materials in civil engineering, novembre/decembre, p.412-417

**[88]** BATAYNEH, M., MARIE, I. et ASI, I. (2007). Use of selected waste materials in concrete mixes, Waste Management, vol. 27, n°.12, p.1870-1876

**[89]** NISHIKAWA, T., TAKATSU, M. et DAIMON, M. (1995). Fracture behavior of hardened cement paste incorporating mineral additions, Cement and concrete research, vol.25, n°6, p.1218-1224

**[90]** SHAYAN, A. et XU, A. (2002). Value-added utilisation of waste glass in concrete, IABSE symposium, Melbourne, p.1-11

**[91]** S. C. Kou, C. S.Poon "Proprerties self-compacting concrete prepared with recycled glass agregate"/ Cement and Concrete Composites 31; pp 107-113; 2009.

**[92]** Zainab Z.Ismail; Enas A. Al-Hashmi "Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete» Waste Management 29; pp 655-659; 2009

**[93]** site web http://www.futura-sciences.com

**[94]** site web http://mobiscience.briand.free.fr/

**[95]** FERGUENE HABIB « Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants » Mémoire de magister UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES 2016

**[96]** MEDAFLOW 30 Conforme à la norme EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

**[97]** [Domone, P.L., Chai, H.W. and Jin, J. "Optimum mix proportioning of self-compacting concrete" Proceeding on international conference on 'innovation in concrete structures: design and construction', University of Dundee, ed Dhir RK and Jones MR, Thomas Telford, London.

**[98]** B. Akcay, M.A. Tasdemir, Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-compacting concrete, Construction and Building Materials 28(1) (2012) 287-293.

**[99]** S. As'ad, P. Gunawan, M.S. Alaydrus, Fresh state behavior of self compacting concrete containing waste material fibres, Procedia engineering 14 (2011) 797-804.

**[100]** A. Khaloo, E.M. Raisi, P. Hosseini, H. Tahsiri, Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers, Construction and building materials 51 (2014) 179-186.

**[101**] S.O.e.D. Hamza, Comportement des bétons autoplaçant à base des fibres plastiques, université yahia fares mémoire master Medea-Algerie, 2014.

**[102]** A. Bilodeau, V. Kodur, G. Hoff, Optimization of the type and amount of polypropylene fibres for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire, Cement and Concrete Composites 26(2) (2004) 163-174.

**[103]** P. Shafigh, H. Mahmud, M.Z. Jumaat, Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete, Materials & Design 32(7) (2011) 3926-3932.

**[104]** O. Kayali, M. Haque, B. Zhu, Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Composites 25(2) (2003) 207-213.

**[105]** I. Irki, F. Debieb, E.-H. Kadri, O. Boukendakdji, M. Bentchikou, H. Soualhi, Effect of the length and the volume fraction of wavy steel fibers on the behavior of self-compacting concrete, Journal of adhesion science and Technology 31(7) (2017) 735-748.

**[106]** I. Zemir, F. Debieb, S. Kenai, Y. Ouldkhaoua, I. Irki, Strengthening of ordinary vibrated concrete using steel fibers self-compacting concrete, Journal of Adhesion Science and Technology (2020) 1-16.

**La fiche Technique du Ciment.**




*Ciment*

# MATINE

## Ciment pour béton exigeant

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression Rc 28> 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments élancés, tunnels, barrages et ponts

Nous pouvons utiliser les proportions moyennes mentionnées ci-dessous dans le cas de l'absence d'une formulation étudiée.

| | CIMENT | SABLE (sec) | GRAVILLONS (sec) | EAU (litres) |
|---|---|---|---|---|
| Ouvrage simple en béton armé (B30) | x1 | + 0/5 | + | + 25ℓ |

**Remarque :** Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif, les résultats de ces formulations peuvent varier selon la nature des matériaux utilisés et les conditions de mise en œuvre.

≈ 10ℓ ≈ ≈ 60ℓ

LAFARGE
لافارج

**MATINE**

**Ciment pour béton exigeant**

**CEM II/A 42,5 R NA 442**

## FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice ($SiO_2$) à caractère acide. On trouve également l'alumine ($Al_2O_3$) et le fer ($Fe_2O_3$). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

**Domaine d'utilisation :**

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

LAFARGE
لافارج

**MATINE**

**Ciment pour béton exigeant**

CEM II/A 42,5 R NA 442

## FICHE TECHNIQUE

**Analyses et caractérisation**

**Analyses chimiques**

| | |
|---|---|
| Perte au feu (%), **(NA 5042)**: | 7.00 – 9.50 |
| Résidus insolubles (%), **(NA 5042)**: | 1.5– 3.0 |
| Teneur en sulfates $SO_3$ (%), **(NA 5042)**: | 2.00 – 2.50 |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) : | 1.90 – 2,30 |
| Teneur en chlorures (%), **(NA 5042)**: | 0,01 – 0,03 |

**Composition hypothétique du clinker (Bogue)**

| | |
|---|---|
| Silicates tricalciques $C_3S$ (%) : | 58.00 – 64.00 |
| Aluminates tricalciques $C_3A$ (%) : | 6,0– 8,00 |

**Propriétés physiques**

| | |
|---|---|
| Consistance normale de la pâte de ciment (%) : | 25,5 – 28,00 |
| Finesse suivant la méthode de Blaine **(NA 231)**: | 4300 – 4 800 |
| Retrait à 28 jours en µm/m | <1 000 |
| Expansion en mm | 0,5 – 2.5 |

**Temps de prise à 20°C (NA 230)**

| | |
|---|---|
| Début de prise (min) | 120 - 180 |
| Fin de prise ( min) | 210 - 280 |

**Résistance à la compression (NA 234)**

| | |
|---|---|
| 02 jours (Mpa) | > 20 |
| 28 jours (Mpa) | ≥ 42.5 & 62,5 |

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

**La fiche technique du superplastifiant**

NOTICE TECHNIQUE — *Edition Juillet 2007* — 2 1 1 9

# MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2

**Superplastifiant – Haut réducteur d'eau**

## DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

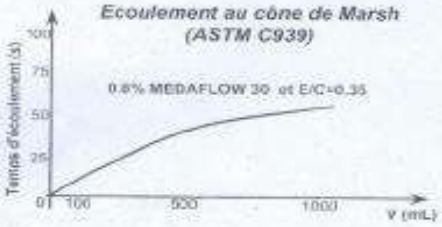
## CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... Jaunâtre
- pH ..... 6 - 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec ..... 30%

## PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais
- l'obtention d'un E/C très faible
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- un long maintien d'ouvrabilité
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

*Ecoulement au cône de Marsh (ASTM C939)*




Sur béton durci :
- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau),
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration

| Désignation | Rc (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | 3J | 7J | 28J |
| MEDAFLOW 30 (1.4%) | 39.2 | 54.7 | 62.2 |

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

## DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2.0 % du poids de ciment soit 0.5 à1.850 litre pour 100 Kg de ciment.

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

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

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

Granitex
قرانيتكس
*Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger*
*Tél : (213) 021 51 66 81 & 82*
*Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 13*
*www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz*

## NOTICE TECHNIQUE

*Edition Juillet 2007*

2 1 1 9

# MEDAFLOW 30

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, et en fûts de 210 Kg et 240 Kg.

**Délai de conservation :**
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

## PRECAUTION D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex.dz**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

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

Granitex
قرانيتكس
*Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger*
*Tél : (213) 021 51 66 81 & 82*
*Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23*
*www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz*

# PROGRAMME DE CALCULE LES FORMILATIONS

## Formulation de MAP:

**Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier**

Essais sur Mortier — Entrer data dans cellules en rouge
Valeurs calculées dans cellules en noir

Référence du mélange — Essai N° CEM I 42,5 — Date 26/08/2020
0 % de Mg
0 % de Poudre de marbre

volume de mortier (litres) **1000,00**
**sable/mortier vol** **0,40**

E/P par vol. **1,24** — poudre vol l **26,786** — Eau volume **33,214**

| composition Poudre(vol %) | type |
|---|---|
| ciment portland | 100 |
| Mg | 0 |
| Poudre de Marbre | 0 |

**superplast – MEDAFLOW30** **0,7** % (Sp/P)
Densité relative de la poudre **3,1**

**teneur en eau du sable**

| | humidité (% ab) | | absorption | correction (%) |
|---|---|---|---|---|
| poids humide (g) | 100 | 0,00 | 0,50 | -0,50 |
| poids sec (g) | 100 | | | |

| Materiaux | Volume litres | Densité kg/m³ | Masse kg | Contenance d'eau % | Contenance d'eau kg | poids mélange kg | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| poudre | 267,857 | 3100 | 830,357 | | | **830,357** | | | |
| Ciment | 267,857 | 3100 | 830,357 | | | **830,357** | | | |
| Mg | 0,000 | 2350 | 0,000 | | | **0,000** | | | |
| Poudre de marbre | 0,000 | 2700 | 0,000 | | | **0,000** | | | |
| Eau | 332,143 | 1000 | 332,1 | | | **333,38** | W1 | **233,367** | 70% W |
| | | | | | | | W2 | **100,015** | 30% W |
| superplastifiant MEDAFLOW 30 | | 1070 | 5,81 | 70 | 4,069 | **5,813** | | | |
| Sable | 400,000 | 2654 | 1061,600 | -0,50 | -5,308 | **1061,600** | | | |
| Total | ####### | | | | | 2231,152 | | | |

**E/P poids = 0,400**

| 100%C | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Volume** | **1,3** | **poids mélange g** | | |
| poudre | | **1079,464** | | T |
| Ciment | 0,348 | **1079,46** | | |
| Mg | 0,000 | **0,00** | | |
| Poudre de | 0,000 | **0,00** | | |
| Eau | 0,432 | **433,40** | W1 | **303,4** |
| | E théorique | 431,79 | W2 | **130,0** |
| superplastifiant MEDAFLOW 30 | | **7,56** | | |
| Sable | 0,5200 | **1380,1** | | |
| Total | 1,3000 | 2900,5 | | |