

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بادجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE.

Département : Génie civil.

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES.

Filière : Génie Civil.

Spécialité : Matériaux de génie Civil.

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Formulation et comportement des Bétons autoplacants fibrés soumis à haute température: 'Influence de la nature de fibres

Présenté par : **Kerboui Saber Abdenour.**

Encadrant: **Achoura Djamel**

Grade: Pr. Université: Badji- Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

Arrabi Nourredine	Professeur	Université de Badji- Mokhtar Annaba	Président
Achoura Djamel	Professeur	Université de Badji- Mokhtar Annaba	Encadrant
Melaïs Fatma- Zohra	M.C.B	Université de Badji- Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2022



Remerciement

Tout d'abord je remercie **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à : A ma chère mère Zora et mon cher père Mohamed, mes frères Sadek, aziz et ma sœur Daouia pour leur soutien dans chaque travail que j'ai effectués.

Je remercie vivement notre encadreur, Monsieur **Djamel ACHOURA**, professeur à l'Université de Badji Mokhtar de Annaba, d'avoir proposé un sujet d'actualité et d'avoir dirigé et suivi mon travail avec rigueur et patience et pour ses conseils et ses encouragements permanents.

Je tiens à remercier en tout premier lieu les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont portés à ce travail, et plus particulièrement M. **Arabi Nouredine** pour avoir accepté de présider ce jury, ainsi que Mme **Mélaïs Fatma Zohra** pour avoir accepté le rôle de rapporteur et apporté leurs remarques pertinentes.

Un grand merci à l'ensemble des professeurs et enseignants du département et tous les techniciens du Laboratoire du département de génie civil, en particulier à monsieur **Kamel, Khair-Eddine** ainsi que le doctorant **Derrouiche Yakoub** pour leurs aides précieuses.

De plus, nous tenons à remercier plus particulièrement Monsieur **Mechacti Saïd** et **HACINI Mohamed** respectivement Directeur et enseignant chercheur du laboratoire de recherche de fonderie LRF du département de métallurgie et de Génie des Matériaux pour leur aide précieuse et leur excellente collaboration dans la réalisation de la partie concernant le comportement des BAPF soumis à haute température.

Résumé:

Les bétons autoplaçants sont caractérisés par leur fluidité élevée de sorte qu'ils puissent être mis en application sans vibration. En effet, leur composition avec un volume de pâte supérieur à celui des bétons ordinaires augmente leur sensibilité à la fissuration. Pour améliorer quelques propriétés mécaniques des bétons autoplaçants, des fibres sont incorporées. Et en situation d'incendie, le béton autoplaçant peut présenter une instabilité thermique au-delà d'une certaine température.

L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier l'influence de l'introduction des fibres sur la rhéologie des bétons autoplaçants à l'état frais, le comportement mécanique à l'état durci et la compréhension du comportement de ces bétons soumis à la haute températures. Dans ce contexte, la présente étude vise à développer méthodologies permettant, d'une part de caractériser les principales propriétés de fluidité et d'écoulement à l'état frais ainsi que le comportement mécanique et les propriétés physiques à l'état durci et d'autre part de détecter l'influence de la température élevée par la mesures de propriétés physiques (masse volumique, absorption d'eau) et de la résistance mécanique qui sont effectués sur des éprouvettes cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ soumis à une température de 600°C .

Les résultats trouvés confirment que l'introduction des fibres (nature et dosage) affecte de façon significative la rhéologie à l'état frais et mène à l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons autoplaçants. Le comportement et la dégradation des BAP fibrés soumis à haute température se differe selon la nature des fibres utilisés.

Mots clés : Béton autoplaçant, Fibres, Propriétés rhéologiques, Propriétés mécaniques, Haute température.

Abstract:

Self-compacting concretes are characterized by their high fluidity, so that they can be applied without vibration. In fact, their composition with a higher paste volume than ordinary concretes increases their susceptibility to cracking. To improve some of the mechanical properties of self-placing concretes, fibers are incorporated. And in a fire situation, self-placing concrete may exhibit thermal instability above a certain temperature.

The aim of this research work is to study the influence of the introduction of fibers on the rheology of self-placing concretes in the fresh state, the mechanical behavior in the hardened state and the understanding of the behavior of these concretes subjected to high temperatures. In this context, the present study aims to develop methodologies for characterizing the main properties of fluidity and flow in the fresh state, as well as mechanical behavior and physical properties in the hardened state, and for detecting the influence of high temperature by measuring physical properties (density, water absorption) and mechanical strength on 10x10x10 cm³ cubic specimens subjected to a temperature of 600°C.

The results confirm that the introduction of fibers (type and dosage) has a significant effect on the rheology in the fresh state and leads to improved mechanical properties in self-placing concrete. The behavior and degradation of fiber-reinforced BAP subjected to high temperatures differ according to the nature of fibers used.

Key words: Self- compacting concrete, Fibers, Rheological properties, Mechanical properties, High temperature

ملخص :

تتميز خواص الخرسانة ذاتية التوضع (B.A.P) بسيولتها العالية بحيث يمكن صبها بدون حاجة لأي اهتزاز. في الواقع، تكوينها مع حجم عجيبة أكبر من تلك في الخرسانة العادية يزيد من الحساسية للتصدع.

لتحسين بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية التوضع أدرجت الألياف في تركيبها. وفي حالة الحريق، قد تظهر الخرسانة ذاتية التوضع عدم استقرار حراري عند تجاوز درجة حرارة معينة

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير إضافة الألياف على سلوك الخرسانة ذاتية التوضع في الحالة السائلة والحالة الصلبة ولتحسين فهم سلوك هذه الخرسانة تحت درجات حرارة مرتفعة من وجهة نظر ميكانيكية. فتم تحليل قوة الانضغاط، وقوة الشد، وفقدان الوزن والمسامية قبل وبعد التسخين. أكدت النتائج المتحصل عليها أن إضافة الألياف في درجة حرارة عالية تؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية التوضع .

الكلمات المفتاحية: الألياف، الخصائص الريولوجية، الخواص الميكانيكية، درجة الحرارة ، الخرسانة ذاتية التوضع العالية

SOMMAIRE

❖ Remerciement.....	
❖ Résumé.....	
❖ Abstract.....	
❖ ملخص.....	
❖ Sommaire.....	
❖ Liste des figures.....	
❖ Liste des tableaux.....	
❖ Introduction général.....	
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	1
I-1. Introduction.....	1
I.1 Béton fibré	1
I.1.2. DEFINITION DE BETON DE FIBRES.....	1
I.1.3 LES FIBRES:	2
I.1. 3.1 Définition des fibres:.....	2
I. 1.3.2 Différents types de fibres.....	2
3.2.1 Fibres minérales :	2
3.2.2 Fibres végétales :.....	2
3.2.3 Fibres synthétiques :	3
3.2.4 Fibres artificielles :	3
3.2.4.1 Fibres de polypropylène	3
3.2.4.2 Fibres de verre	3
3.2.4.3 Fibres métalliques	4
I.1.4.Principe d'action des fibres et comportement mécaniques des bétons fibrés :.....	5
I-2.betons autoplaçants fibrés	6
1-2.1 Définition des BAP	6
1.2.2. Avantages des et domaine d'utilisation des BAP.....	7
1.2.3. Propriétés des BAP à l'état frais (propriétés rhéologiques).....	7
1.2.3.1 Essais de l'étalement (Essai au cône d'Abrams)	7

1.2.3.2 Essai de la boîte en L.....	8
Figure I .6 : Essai de boîte en L.....	9
1.2.3.4 Essai rhéologique (Rhéomètre).....	10
1.2.4 Comportement mécanique des BAP.....	10
1.2.4.1 Résistance à la compression	10
1.2.4.2 Résistance à la Traction	11
1.2.5. Influence des fibres sur les propriétés de B.A.P à l'état frais	11
1.2.6 Utilisation des BAP fibrés dans les structures.....	12
1.2.7.1 Comportement à la flexion	14
1.2.7.1 Comportement à la compression et à la traction	15
1.3 Comportement à haute température des bétons renforcés par des fibres	16
CHAPITE II: MATERIAUX ET FORMULATION.....	20
II.1 INTRODUCTION	20
II.2 MATERIAUX UTILISES	20
II.2.1 .Le ciment :	20
II.2.2. Granulats.....	21
II.2.2.1. sable	21
A/ Analyse granulométrique et classes granulaires réelles	21
B/.Module de finesse (FM) :	24
C/ Equivalent de sable (ES) Selon la Norme NF P 18-598 :	24
D/. Masse volumique absolue.....	26
E/. Masse volumique apparente	27
II.2.2.2 Gravier.....	28
A/ Analyse granulométrique et classes granulaires.....	28
B/.Masse volumique absolue.....	29
C/. Masse volumique apparente [NF P 18 – 554].....	29
II.2.3. filler utilisé :.....	30
II.2.4.fibres utilisées	31
A/ les fibres métalliques de forme crochet 5cm :.....	31
B/.Les fibres végétale d'Alfa :.....	32
C/.Les fibres polypropylène	34
II.5. Adjuvants :	35
II.6.Eau de gâchage	35
II.7.Formulation de béton auto plaçant :.....	35

II.7.1.Méthode utilisée :	36
II.7.2.Dénomination des bétons autoplçant étudiés :	37
II. 8. Procédure de préparation des éprouvettes.....	38
II.8.1 Séquences de malaxage.....	38
II.8.2 Les séquences de malaxage pour le béton témoins (sans fibre)	38
II.3.3 Les séquence de malaxage pour le béton fibrés.....	38
II.8.4 Conservation et cure des éprouvettes.....	39
II.9.Conclusion.....	39
CHAPITE III: RESUTATS ET INTERPRETATIONS	40
III. Introduction	40
III.1. Propriétés des bétons autoplçant à l'état frais.....	40
III.1.1 Etalement au cône d'Abrams.....	40
A/. Procédure expérimentale.....	40
B/ résultats.....	43
III.4.1.1.Effet de la nature le dosage et la longueur des fibres sur l'ouvrabilité.....	44
III.2. Essai à la boîte en L : [la norme EN 12350 – 101] (écoulement au milieu non confiné)	44
A/. Procédure expérimentale.....	44
B/ résultats.....	46
III.4.2.1.Effet de la nature, du dosage et de la longueur des fibres sur la mobilité.....	46
B/ résultats.....	48
III.4.3.1.Effet de la nature, du dosage et de la longueur des fibres sur la laitance.....	48
III.1.4.La Masse volumique des bétons autoplçant.....	49
A/. Procédure expérimentale.....	49
B/ résultats.....	49
III.2.Propriétés des bétons autoplçant d'étude à l'état durci	50
III.2.2.Procédures expérimentales	50
III.2.2.1.Essai de compression :	50
III.2.2.2.Essai de traction par flexion.....	51
III.2.3. Essai d'absorption d'eau par immersion totale	53
III.3.Resultats et interprétations	53
III.3.1.Résistance en compression.....	53
III.3.2.L'influence de la haute température sur les bétons autoplçant fibrés (effet de la nature de fibres)	55
III.3.3.Mode de rupture en compression	61
III.4 Résistance et comportement des BAP fibré en traction par flexion.....	61

III.4.1 L'influence de la nature, du dosage et de la longueur des fibres à la traction par flexion.....	62
III.4.2.Comportement en flexion.....	63
III.4.3.Courbe charge-flèche.....	63
III.4.3.1.Pour fibres métalliques.....	63
III.4.3.2.Pour fibres végétales	65
III.4.3.3.Caomparaison entre les courbes charge-flèche, charge –ouverture de fissures (CMOD) pour les BAPT, BAPFM et BAPFV.....	67
III.6. Mode de rupture en flexion.....	68
III.7. Essai d'absorption d'eau par immersion totale	70
III.7.1 L'influence de la haute température sur absorption d'eau par immersion totale	71

Liste des Figures

Figure.I.1 : MODELÉ DE COMPOSITE À BASE DES FIBRES	2
Figure.I. 2:différent nature de fibre [6]	5
Figure.I. 3 :Processus de fissuration du béton [7]	6
Figure .I.4 : Processus de fissuration du béton [7]	6
Figure.I. 5 : Essai d'étalement à cône d'Abrams (Slump Flow)	9
Figure .I.6 : Essai de boîte en L	10
Figure .I.7 :Essai de la stabilité au tamis.....	11
Figure.I. 8 :Appareil de rhéomètre	12
Figure .I.9 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)	13
Figure .I.10 : Effets des fibres sur l'étalement des BAP [14].....	14
Figure .I.11 : 'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre [14].....	14
Figure .I.12 : a Détail jusqu'à une flèche de 6mm	16
Figure .I.13 : Comportement à la traction de différentes compositions.....	18
Figure .I.14 : Evolution de la résistance résiduelle relative à la compression de bétons de fibres métalliques, de polypropylène et de cocktail de fibres métalliques et polypropylène	19
Figure.I.15 : Différents résultats de la résistance à la traction résiduelle relative.....	20
Figure.III. 1 .Essai d'étalement de B.A.P (témoin).....	42
Figure.III. 2.Essai d'étalement de BAP.FP	43
Figure.III. 3. Essai d'étalement de BAPF.M1	43
Figure.III. 4 . Essai d'étalement de BAPF.M1.....	43
Figure.III. 5. Essai d'étalement de B.A.P.F.V1	44
Figure.III. 6. Essai d'étalement de BAP.FV2.....	44
Figure.III. 7 . L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la la maniabilité (écoulement non confiné).....	45
Figure.III. 8 . Essai de boîte en L pour BAP.T	46
Figure.III. 9 . Essai de boîte en L pour BAP.FM 1(blocage).....	47
Figure.III. 10 . L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la la mobilité	47
Figure.III. 11 .Essai de stabilité de tamis à laboratoire.....	49
Figure.II. 1: Sable de deux types (dune et carrières).....	21
Figure.II. 2: Courbe d'analyse granulométrique du sable de dune et sable de carrière	23
Figure.II. 3 :Image de l'analyse granulométrique de types de sables.....	24
Figure.II. 4 : Module de finesse (valeur série françaises)	24
Figure.II. 5 : Image de l'essai de l'équivalent de sable dune.....	26
Figure.II. 6 : L'analyse granulométrique des différents granulats utilisée.....	30
Figure.II. 7 : Laitier granulé broyé pendant 10h.	32
Figure.II. 8 : Fibre métallique de forme crochet de 5 cm	33
Figure.II. 9 : Fibre végétales H'alfa.....	34
Figure.II. 10 : Fibre végétales Halfa de 2.5 cm.....	35
Figure.II. 11 : Fibre végétales Halfa de 5 cm	35
Figure.II. 12 : Fibre polypropylène	36

Liste des Tableaux

Tableau.I.1 : Domaines d'application de BAPF [15].....	13
Tableau. II. 1 : composition chimique du ciment.....	20
Tableau. II. 2 : Composition minéralogique.....	20
Tableau.II. 3 : Caractéristique Physique de ciment Matine (CEM II/B 42.5).....	20
Tableau.II. 4 : Analyse granulométrique de sable dune (0/2) Tébessa.....	22
Tableau.II. 5 : Analyse granulométrique de sable carrières Guelma (EL-Fedjouj).....	22
Tableau.II. 6 : Classification des Sols en fonction de L'équivalent de sable.....	26
Tableau.II. 7 : La masse absolue de sable dune.....	27
Tableau.II. 8 : La masse absolue de sable carrières.....	27
Tableau.II. 9 : La masse volumique apparente de sable dune.....	28
Tableau.II. 10 : La masse volumique apparente de sable de carrière.....	28
Tableau.II. 11 : Analyse granulométrique du gravier (3/8).....	29
Tableau.II. 12: Analyse granulométrique du gravier (8/16).....	29
Tableau.II. 13 : La masse volumique absolue du gravier (3/8).....	30
Tableau.II. 14 : La masse volumique absolue du gravier (8/16).....	30
Tableau.II. 15 : La masse volumique apparente du gravier (3/8).....	31
Tableau.II. 16 : La masse volumique apparente du gravier (8/16).....	31
Tableau.II. 17 : Résultats des essais d'identification des granulats.....	31
Tableau.II. 18 : Caractéristiques des Laitier granulé.....	32
Tableau.II. 19 :Composition des B.A.P d'étude pour 1m ³	39
Tablea.III. 1. Essai d'étalement des déférents Béton autoplaçant.....	44
Tablea.III. 2 . Essai de Boite en L des déférents Béton autoplaçant.....	47
Tablea.III. 3 . Essai de laitance des déférents Béton autoplaçant.....	49
Tablea.III. 4 . Essai de la masse volumique de Béton autoplaçant.....	50
Tablea.III. 5 . Résistance en compression des différents BAP non exposé à la haute température.....	54
Tablea.III. 6 . Résistance en compression des différents BAP exposé à la haute température.....	57
Tablea.III. 7. Résultat d'essai de traction par flexion.....	62
Tablea.III. 8 . Résultat d'essai d'absorption d'eau par immersion totale.....	72

INTRODUCTION GENERALE

Les bétons autoplaçants BAP ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur le chantier et le temps de mise en œuvre. [1]

Les principaux avantages des BAP sont liés à leur mise en place qui ne nécessite aucun apport de vibration ou de compactage, qu'elle soit interne ou externe. Ces avantages sont d'ordre technico-économique mais également social. Ainsi, l'absence de vibrations des BAP engendre une diminution sensible des nuisances sonores ainsi que de la pénibilité du travail, et la réduction des délais et des coûts globaux de production. Sa fluidité permet également de couler des milieux fortement ferraillés ou à géométrie complexe [2]

L'objectif d'obtenir un béton autoplaçant plus résistant en flexion et en traction fait l'objet de nombreuses recherches, la voie la plus évoquée dans la littérature pour pallier cette faiblesse de comportement en traction consiste à l'incorporation de fibres dans la formulation du béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et de macro fissuration. Les fibres avec la capacité de contrôler les fissures jouant le rôle d'absorbeurs d'énergie. Dans la plupart des cas, les bétons autoplaçants (BAP) renforcés de fibres, contiennent seulement un type de fibre. L'utilisation de deux types de fibres ou plus avec des dimensions différentes peut potentiellement non seulement améliorer les propriétés intrinsèques du béton autoplaçant, mais peut aussi contribuer à un gain conséquent de fibres.

La Sélection des meilleurs matériaux et l'ajout de fibres à pour but de fabriquer des BAP robuste et durable pendant une longue période. Et dans une approche sécuritaire de la construction, les structures en béton doivent être conçues de façon à résister à une éventuelle montée en température. En particulier, des études ont montré que durant une élévation importante de température (comme lors d'un incendie), le béton ordinaire, pouvait présenter des risques importants d'instabilités thermiques (phénomène d'éclatement).[3]

Ce travail de thèse a pour objectif d'une part d'améliorer la compréhension du comportement des bétons autoplaçants fibrés exposés à hautes températures et d'autre part de caractériser et comprendre l'influence de la nature (Polypropylène ,métalliques et fibre d'alfa) sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais (l'étalement , boîte en L , stabilité au tamis) et durci (les essais de compression, traction par flexion,) exposés à température de 600°.

Ce mémoire de master est composé de trois principaux chapitres. Le premier chapitre est une analyse bibliographique de différents travaux de recherche sur le béton autoplaçants et bétons autoplaçant fibrés. Ensuite, une synthèse est faite sur le comportement de la matrice cimentaire, des granulats, les propriétés thermiques, physiques et mécaniques du béton chauffé.

La première partie du second chapitre est destinée à la caractérisation des matériaux utilisés, par une présentation des caractéristiques chimiques, physiques, et mécaniques (Ciment, filler calcaire, superplastifiants, fibres, sable et gravier). La deuxième partie décrit la méthode de formulation des BAP et la procédure expérimentale de confection et préparation des éprouvettes.

La présentation et à la discussion résultats obtenus lors de cette étude sont regroupés dans le troisième chapitre. Pour les différentes compositions des BAP fibrés, les propriétés physiques, et le comportement mécanique sont présentées et comparées suivant le type de béton. Enfin, les principaux résultats l'influence de la température élevée par la mesure de propriétés physiques (masse volumique, absorption d'eau) et de la résistance mécanique sont présentés et confrontés.

Une conclusion générale clôture ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques qui en découlent.

I-1. Introduction.

Le présent chapitre est une synthèse bibliographique des travaux de recherche sur le béton autoplaçant fibré et comportement de ce béton porté à une température élevée. Cette analyse portera d'une part, sur les propriétés rhéologiques à l'état frais et le comportement mécanique à l'état durci des bétons autoplaçants et bétons autoplaçant fibrés et d'autre part, sur les différentes transformations physiques et chimiques, les performances mécaniques lorsqu'il est soumis à une haute température.

I .1 Béton fibré

Le béton fibré, matériau utilisé avec succès depuis de nombreuses années, principalement pour des applications spécifiques comme les éléments préfabriqués ou les dalles. A ce jour, ce béton a été utilisé avec parcimonie en dehors de ces niches. Les avantages économiques que l'on peut attendre des fibres résident dans le remplacement des armatures traditionnelles en béton armé par des fibres ou dans l'amélioration de la durabilité des applications. Cependant, dans les éléments structuraux tels que les poutres en béton armé, bien qu'un grand nombre d'essais aient été réalisés sur le terrain, il existe peu d'applications, notamment le manque de méthodes de calcul prenant en compte l'effet du renforcement fibreux. Les fibres offrent de nombreux avantages au béton, notamment en termes de propriétés mécaniques en traction. Cependant, leur utilisation nécessite une connaissance du mécanisme d'action ainsi que des précautions à mettre en œuvre.

I.1.2. DEFINITION DE BETON DE FIBRES

Le béton fibré est un matériau composite **Figure I .1** qui peut considérer comme un composite homogène (toutes résistances de même direction).Le ciment utilisé est généralement du ciment hydraulique, c'est-à-dire après Lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il prend et durcit même avec un excès d'eau. Les agrégats peuvent être de formes et de propriétés minéralogiques variées et se présenter sous différentes tailles Des dizaines de microns aux dizaines de millimètres. Les fibres sont en acier, Plastique, verre ou divers matériaux naturels.

Les performances du béton fibré dépendent de la qualité de la matrice et Propriétés des fibres. La matrice considérée est la même que celle du béton courant ont des agrégats plus petits. Pour le renforcement, il existe de nombreux types de fibres. Ils sont de Différentes formes et tailles liées à la technologie de traitement. Chacun de ces Les classes de fibres confèrent au béton des propriétés spécifiques, selon la nature, Géométrie, élancement (rapport longueur de fibre sur diamètre) équivalent fibre et la teneur volumique en fibres. [4]

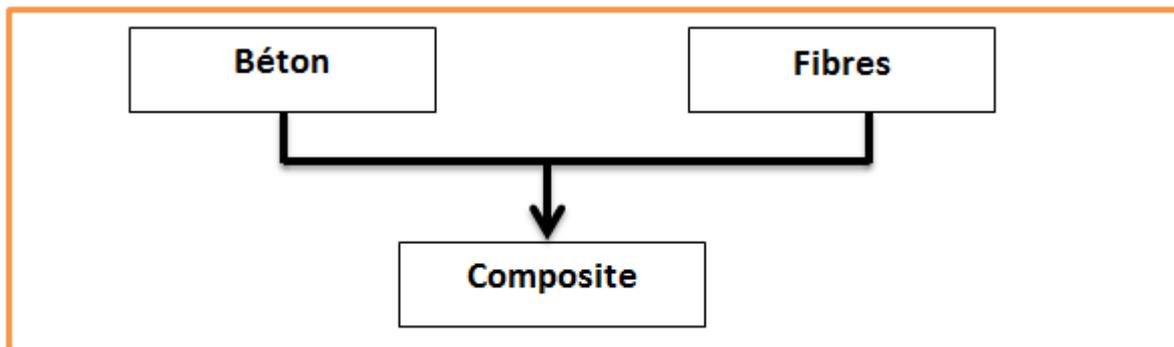


FIGURE I.1 : MODELE DE COMPOSITE A BASE DES FIBRES

I.1.3 LES FIBRES:

I.1. 3.1 Définition des fibres:

Les fibres sont définies comme des éléments discrets aux propriétés variables, Fondamentalement cylindrique, de diamètre et de longueur variables. Leurs distributions aléatoires ou préférentielles dans la matrice. Souvent, les fibres sont également utilisées pour définir les ingrédients de base Structure textile. Faites également la distinction entre les fibres ou les fibres de longueur raccourcie Fibres courtes, de 20 à 150 mm, longues ou filaments continus.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite [5]

I. 1.3.2 Différents types de fibres

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres sont classée selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle, leur forme (droite, ondulée, aiguille,etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leur propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont:

3.2.1 Fibres minérales :

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ... etc), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante. Autrefois utilisée pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes.

3.2.2 Fibres végétales :

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent à la plupart des acides organiques mais sont détruite par les acides minéraux forts. Il existe quatre sont de fibres végétales: les fibres provenant des poils, les fibres di liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

3.2.3 Fibres synthétiques :

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc). Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, t'issus pare-balle, les fuselages entaillés d'avion.

3.2.4 Fibres artificielles :

Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons.

3.2.4.1 Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans, ce domaine où il apporte les avantages suivants: bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée. Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécanique élevées. L'ajout des fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

3.2.4.2 Fibres de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu passé dans un moule, chauffé Par effet Joule, il est constitué de 50 à 800 cercles d'un diamètre d'environ 10 à 100 mm. Ils sont vendus sur le marché sous forme de rouleaux (coupés à la main sur demande) ou sous forme prédécoupée en longueurs de 3, 6, 12 et 50 mm. Eux Il en existe trois types : fibre de verre conventionnelle (silice, soude, chaux), Fibres de verre de zirconium et fibres de borosilicate. Ces fibres sont généralement A les propriétés suivantes :

- ✓ Bonne adhérence avec la matrice ;
- ✓ Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues.....) ;
- ✓ Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion ;
- ✓ Conductivité thermique relativement faible.

3.2.4.3 Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été resté encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouent sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits aux nombreuses variétés

de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section(rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70mm.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets.

Il existe d'autres types de fibres artificielles qui sont utilisé pour le renforcement des mortiers ou béton tell que, fibres d'amiante, fibres de cellulose...). Chaque type de fibres présentes des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres. [6]

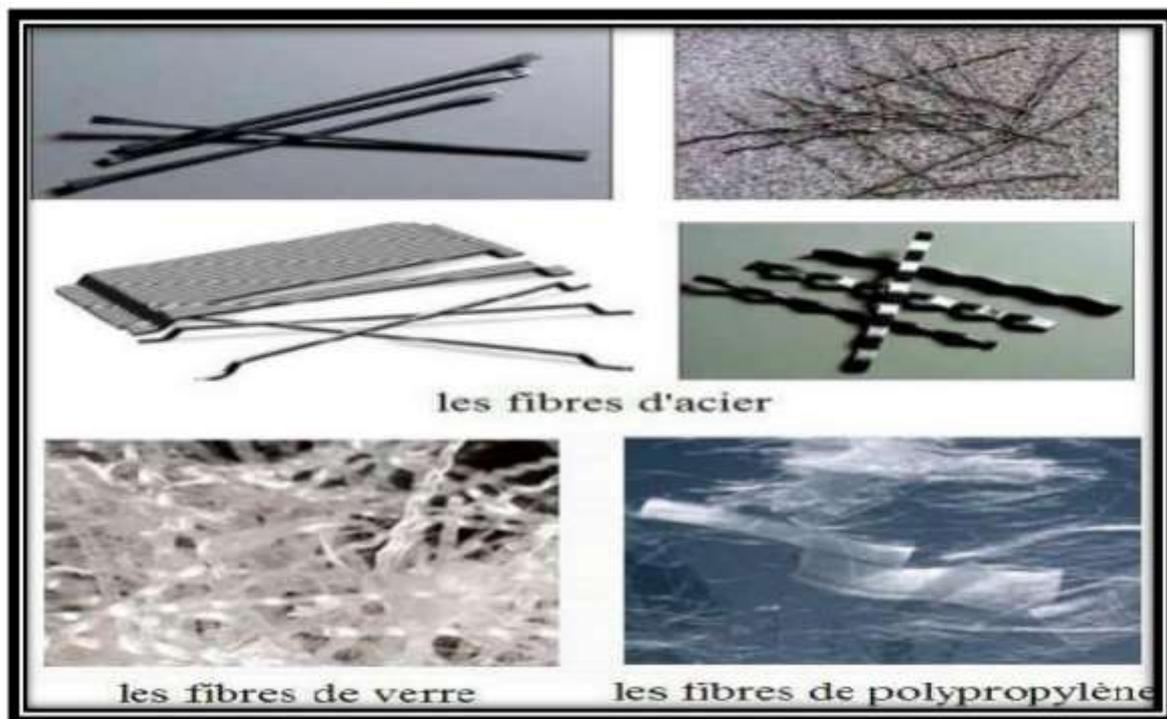


Figure I .2 : différent nature de fibre [6]

I.1.4.Principe d'action des fibres et comportement mécanique des bétons fibrés :

Selon [Rossi et al 1987], le principe d'action des fibres se manifeste à deux échelles : matérielle et structurelle. Considérons un morceau de béton fibré soumis à une contrainte de traction. On peut distinguer 3 phases sur la courbe contrainte-déformation qui caractérise son comportement. Dans la première phase, on observe la formation de microfissures qui se développent très tôt, généralement dans des zones de moindre résistance mécanique, comme les granulats et l'interface matrice (halo transition). La longueur de ces fissures est de l'ordre du diamètre global et leur largeur est de l'ordre du micromètre. Durant cette phase, les fibres sont inactives.

La deuxième étape correspond au développement de microfissures provoquées par la coalescence de microfissures. A ce stade, les contraintes sont transférées aux fibres, ce qui permet de limiter la propagation des fissures. Cette étape est suivie de la propagation de fissures macroscopiques (étape 3), qui scinde l'éprouvette en deux, provoquant la rupture du tube.

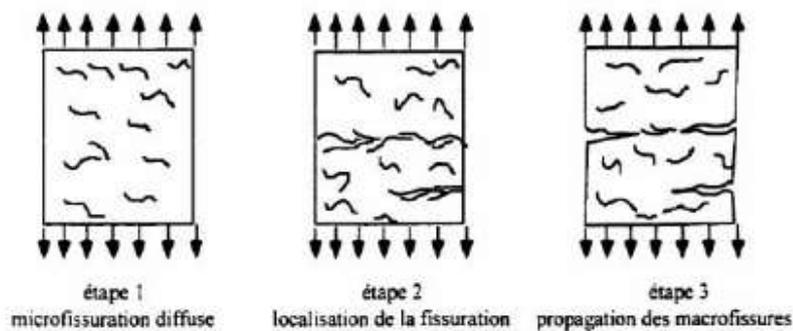


Figure I .3: Processus de fissuration du béton [7]

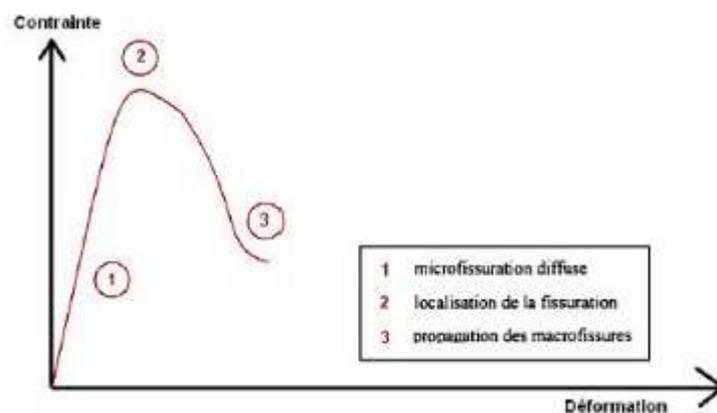


Figure I .4: courbe contrainte de déformation du béton [7]

Le mécanisme de piquage des fibres assure une redistribution homogène des contraintes dans la matrice, contribuant à augmenter la résistance post-fissuration et à limiter la propagation des fissures, conférant ainsi de la ductilité au béton [8]

- Résistance à la compression

La résistance à la compression simple qui est déterminée par la valeur maximum de l'effort appliqué, est la caractéristique de base des bétons employés dans les structures. Dans le cas du béton de fibres,

l'introduction des fibres dans la matrice peut avoir deux effets contradictoires : d'une part02. Maintenir les fissures, ce qui est favorable pour la phase post pic, mais d'autre part créer des défauts supplémentaires à l'interface fibre- matrice. Ces défauts peuvent servir d'amorce à l'endommagement et donc limiter la charge maximale. Généralement, la plupart des résultats de la littérature qui comparent un béton normal à un béton de fibres, montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres

Résistance à la traction

Comme il a été illustré au-dessus, les fibres modifient principalement le comportement après fissuration. Les fibres ont deux rôle: d'une part elles sont susceptibles de retarder l'apparition de la macrostructure de la matrice et d'autre part, elles réalisent une couture sur les lèvres de la fissure formé dans l'éprouvette, ceci augmente de la "ductilité" au matériau. Durant la première phase, la microfissuration se répartit uniformément dans le volume. Le matériau est caractérisable par une loi de comportement. Pour augmenter la résistance à la fissuration. Il semble logique en utilisant un fort pourcentage de fibres courtes. Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration. En revanche, le comportement post fissuration est fortement lié à la teneur en fibres, à leur orientation et à leur mode de fonctionnement. Mais la contrainte post fissuration n'est pas directement proportionnelle à la quantité de fibres introduite. Plusieurs méthodes expérimentales ont été développées pour quantifier l'action des fibres sur le contrôle de la fissuration. Ce sont l'essai de fendage et de module de rupture (qui ne donnent accès qu'à une valeur pic qualifiée de résistance, l'essai de flexion (avec mesure de la flèche et du comportement post fissuration) et l'essai de traction uni axiale Cependant, la plupart de cet essai ne permet pas de déterminer un comportement intrinsèque du matériau. En effet, les résultats dépendent généralement de la taille des éprouvettes et font intervenir des effets structuraux qu'il est difficile d'analyser en terme de comportement en traction.[9]

Résistance en flexion

Le cas de chargement dynamique, tel que le choc, remet en question les modélisations et les lois de comportement du béton de fibre sous chargement statique ou quasi-statique. La structure interne hétérogène fait que chaque composant se déforme différemment et que l'interaction inter granulaire engendre des frictions internes différentes pour chaque niveau de contrainte.[9]

I-2.betons autoplaçants fibrés

1-2.1 Définition des BAP

Ces bétons sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferrailés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'autoplaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes (pas de ségrégation) et présente de très bonne performance à court et à long terme [10]

Les propriétés caractéristiques de BAP sont :

- ✓ Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
- ✓ Des aérations du béton pendant son écoulement.

- ✓ Excellente aptitude au béton homogène en présence de réservations d'incorpores et de ferrailages denses

1.2.2. Avantages des et domaine d'utilisation des BAP

Les bétons autoplaçants BAP présentent de nombreux avantages, on cite :

a) Avantages techniques :

- ✓ Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- ✓ Réalisation d'éléments de forme complexe.
- ✓ Bétonnage en milieux fortement ferrailés

b) Avantages économiques :

- ✓ Réduction du cout de main d'œuvre et du temps de bétonnage.
- ✓ Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

c) Avantages écologiques :

- ✓ Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- ✓ Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de]génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [11].

La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.). Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation des structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- ✓ Densités de ferrailage importantes.
- ✓ Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- ✓ Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- ✓ Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- ✓ Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

1.2.3. Propriétés des BAP à l'état frais (propriétés rhéologiques)

1.2.3.1 Essais de l'étalement (Essai au cône d'Abrams)

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d'un béton. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. **Figure I .5**

Cependant l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention du diamètre d'une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur

la viscosité du matériau. Une observation permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Cet essai réalisable sur chantier ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. Une valeur de 60 à 75 cm est en général visée pour obtenir un BAP.

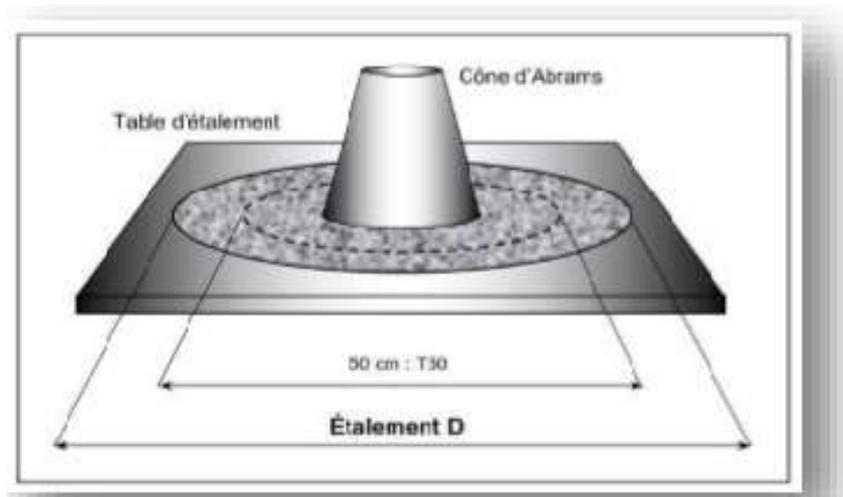


Figure I.5: Essai d'étalement à cône d'Abrams (Slump Flow)

Des observations complémentaires peuvent aider à appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons autoplaçant :

- ✓ Le ressuage peut être détecté si une quantité importante d'eau est présente au bord de la plaquette de la galette.
- ✓ En traçant à la truelle des lignes dans la « galette », on peut vérifier si le béton se referme bien, ce qui est synonyme de bon comportement.
- ✓ La fluidité du béton peut être évaluée en mesurant les temps de passage du béton aux diamètres 50 et 60 cm durant un écoulement au cône.
- ✓ Une forme bombée de la « galette » traduit un effet de voûte, ce qui peut nuire à l'homogénéité du béton.
- ✓ Tous ces signes sont plus ou moins subjectifs, mais aident à formuler, expérimenter certaines corrections pour obtenir quelque chose de plus conforme à ses attentes.

1.2.3.2 Essai de la boîte en L

La boîte en L permet de caractériser la mobilité du béton frais en milieu confiné (ségrégation dynamique) et de vérifier que la mise en place du béton se fait sans blocage, ni formation de voûtes au voisinage des armatures. Le principe de cet essai (**figure I.6**), est de remplir entièrement la partie verticale de la boîte, laisser le béton se reposer 1 min puis enlève la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferrailage. On mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le taux de remplissage $H2/H1$.

Notons que les distances entre les barres d'acier représentent un ferrailage standard Pour des ouvrages de génie civil très ferrillés.

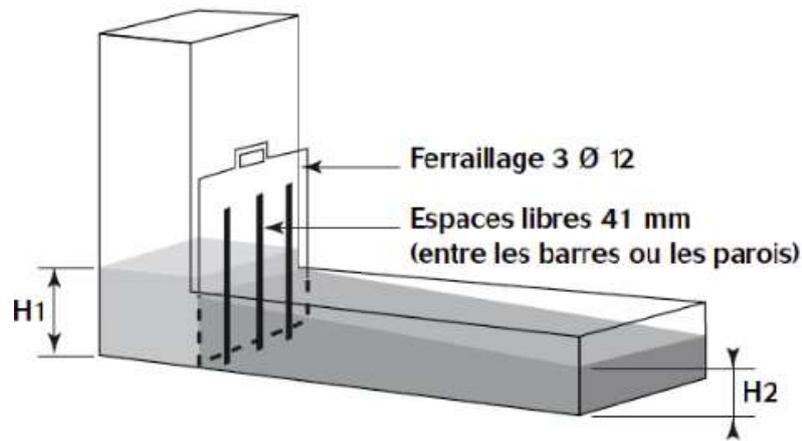


Figure I.6 : Essai de boîte en L

1.2.3.3 Essai de la stabilité au tamis

Une résistance à la ségrégation statique se traduit par la capacité d'un BAP à maintenir ses particules en suspension, sans risque de tassement des particules par gravité, ni ressuage.

Pour caractériser la ségrégation statique d'un BAP on utilise l'essai de stabilité au tamis (**figure I.7**). L'essai est développé par la société « GTM construction », il permet de qualifier les BAP vis à vis du risque de ségrégation. Il s'agit de verser 10 litre du béton juste après le malaxage dans un seau, puis couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation et laisser reposer durant 15 mn. Verser 5 kg du béton au centre d'un tamis 5mm, à une hauteur de chute de 50cm, on récupère le béton passant dans un récipient. Après 2mn, on mesure le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon passant au travers le tamis.

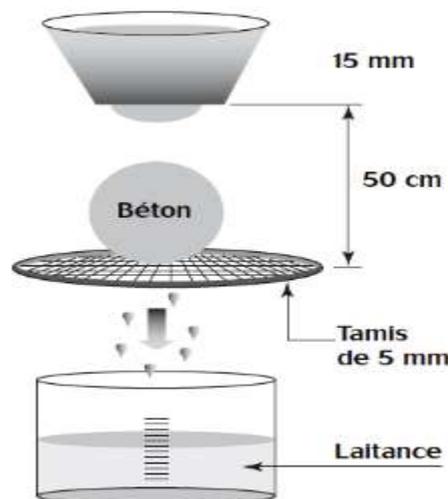


Figure I.7 : Essai de la stabilité au tamis

La mesure du pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton autoplaçant de la façon suivante :

- ✓ $0\% \leq P_{\text{laitance}} \leq 15\%$ → stabilité satisfaisante.
- ✓ $15\% \leq P_{\text{laitance}} \leq 30\%$ → stabilité critique
- ✓ $P_{\text{laitance}} > 30\%$ → stabilité très mauvaise

1.2.3.4 Essai rhéologique (Rhéomètre)

En plus des essais normalisés et recommandés pour les BAP qui permettent d'évaluer l'ouvrabilité et la stabilité des BAP, des mesures des caractéristiques rhéologiques ont été effectuées à l'aide d'un rhéomètre à géométrie Vane.

Le rhéomètre est un appareil conçu spécialement pour mesurer les propriétés rhéologiques des fluides. Ils permettent une caractérisation plus complète en termes de viscosité, de plasticité (seuil d'écoulement) et d'élasticité.

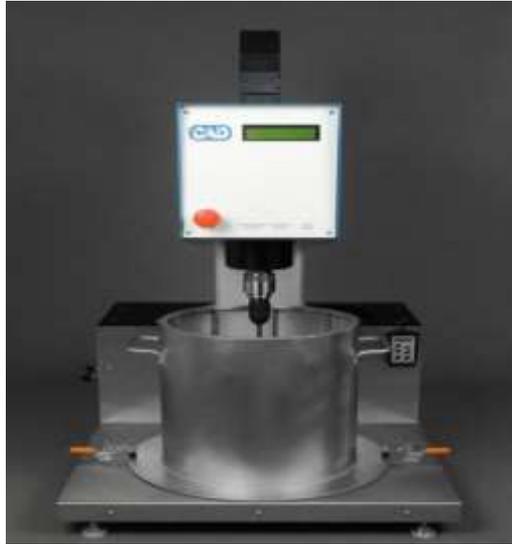


Figure I.8 Appareil de rhéomètre

1.2.4 Comportement mécanique des BAP

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques

1.2.4.1 Résistance à la compression

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.

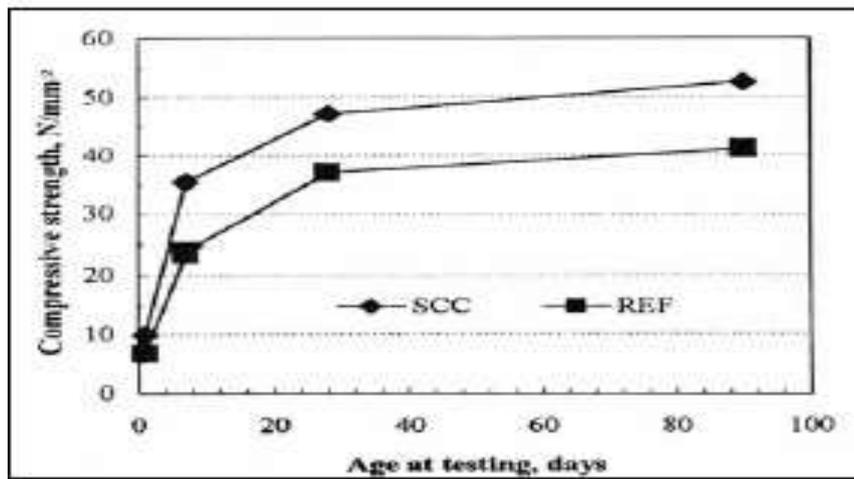


Figure I.9 Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)

Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence sur l'évolution de la résistance mécanique du béton. Ainsi, l'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges. [13]

1.2.4.2 Résistance à la Traction

Gibbs 99 ont constatés qu'il n'y aucune différence entre la résistance à la traction des BAP et celle des bétons référence. Par contre, Gibbs 02 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.

1.2.5. Influence des fibres sur les propriétés de B.A.P à l'état frais

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 la composition de référence. On remarque sur la **Figure I.10-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.10-b**) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. **La Figure I.10-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.

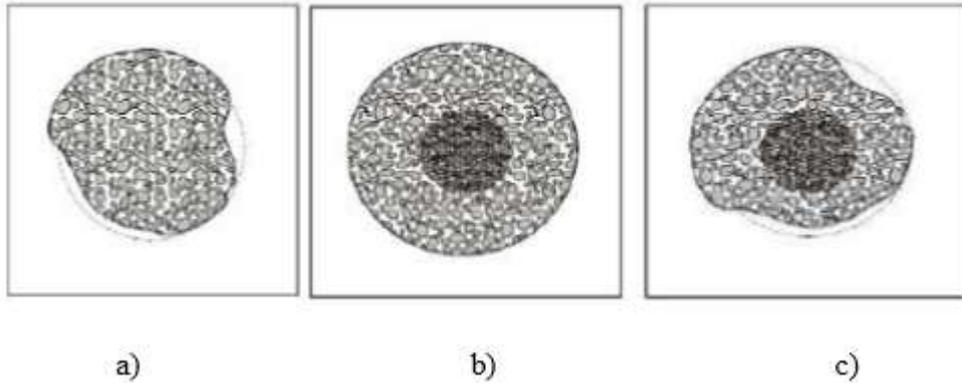


Figure I.10 Effets des fibres sur l'étalement des BAP [14]

Sachant que l'élançement et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, [14] se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme le produit entre la teneur volumique en fibres V_f et l'élançement. La Figure I.11 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.

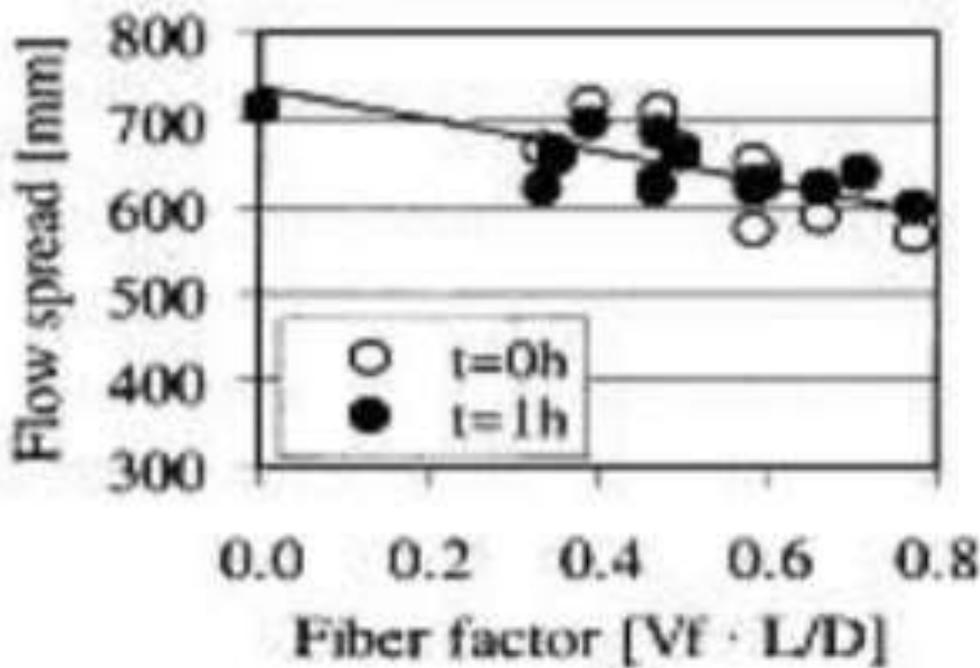


Figure I.11 L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre [14]

1.2.6 Utilisation des BAP fibrés dans les structures

On peut voir les différentes applications de BAPF sont présentées dans le tableau :

Tableau I.1 Domaines d'application de BAPF [15]

Applications	Intérêt apporté par l'adjonction des fibres dans le béton
Canalisation et coques minces faiblement sollicitées	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges ✓ Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations
Dallages, chaussées en béton Dallages manufacturés, et tous éléments structuraux soumis à la Flexion	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diminution de 40% de l'ouverture de fissures ✓ L'augmentation de la rigidité après fissuration ✓ Augmentation de la résistance au cisaillement ✓ Augmentation de la résistance à l'usure
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations, ...etc.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration de la charge ultime ✓ Pas de rupture catastrophique
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles ex : piste d'un aéroport	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'énergie absorbée est plus importante ✓ La durée de choc est augmentée ✓ Loi de comportement du matériau est fortement Modifiée
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remplacement avec succès du revêtement réfractaire ✓ Diminution le coût de réparation des éléments Réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé. ✓ Diminution du coût de réparation de stabilisation des

1.2. 7.Comportement mécanique des bétons autoplaçant fibrés

Les résistances à la traction, à la flexion et à la compression sont les propriétés mécaniques qui définissent le comportement du béton autoplaçant durci.

L'ouverture des fissures est affectée par les fibres, de sorte que la rigidité et la ténacité du

Matériau dépendent de la quantité et de la nature des fibres utilisées.

1.2.7.1 Comportement à la flexion

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.[16]

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.12a et I.12b)** illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche. [17]

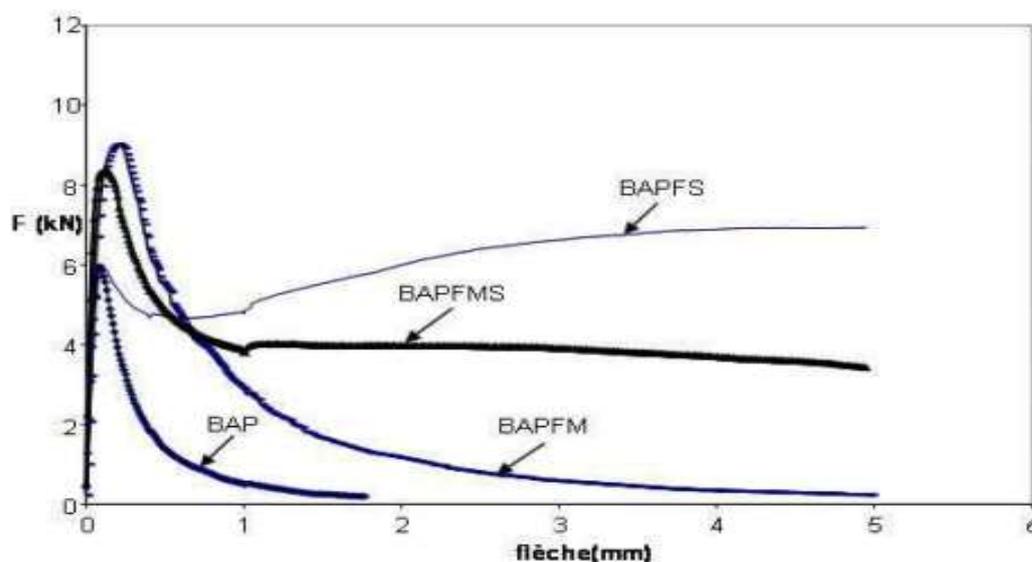


Figure I.12a Détail jusqu'à une flèche de 6mm[18]

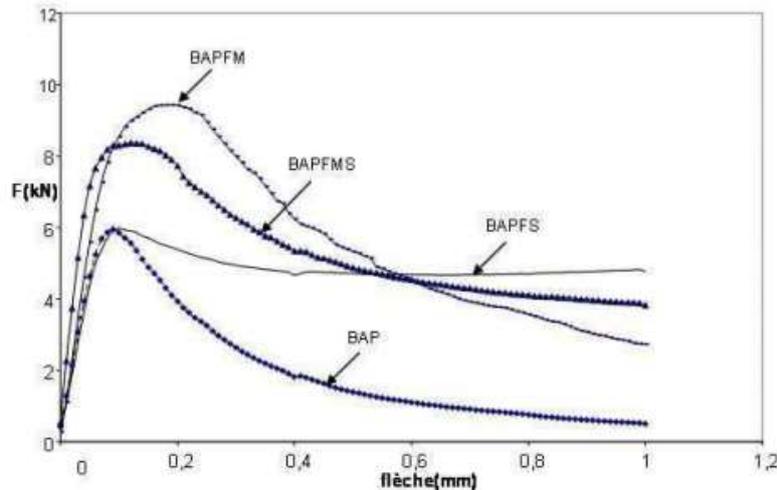


Figure I.12b Détail jusqu'à une flèche de 1mm [18]

Ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorerait le comportement à la flexion des bétons. [18]

1.2.7.1 Comportement à la compression et à la traction

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. [19]

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 R_{comp}/R_{trac} 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.

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 microfissures 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. [20]

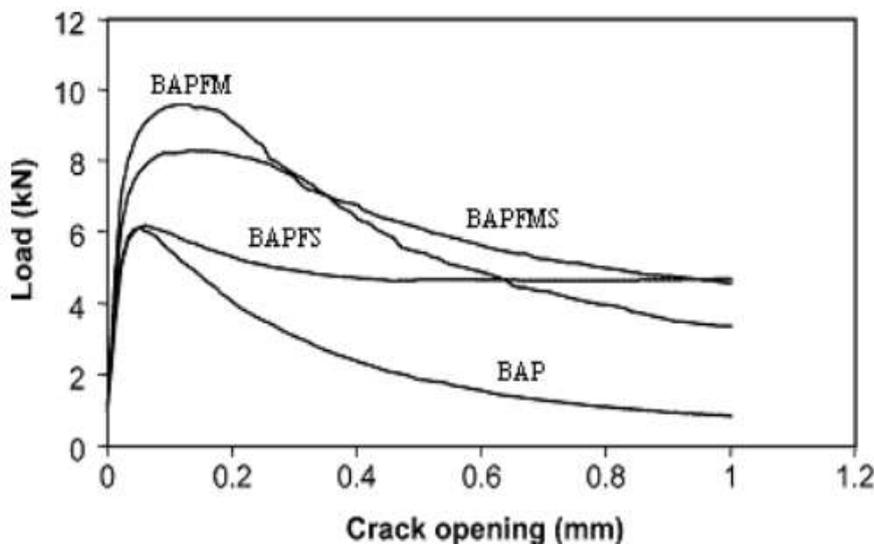


Figure I.13 Comportement à la traction de différentes compositions[19]

1.3 Comportement à haute température des bétons renforcés par des fibres

Les contraintes thermiques sur le béton entraînent une diminution progressive des propriétés mécaniques, mesurées à chaud comme à froid. La perte de résistance varie en fonction de la température, de la vitesse de chauffage et du type de béton.

Les principales caractéristiques mécaniques présentées sont la résistance à la compression, la résistance à la traction

✓ Résistance à la compression

Pour caractériser un béton, il est nécessaire de connaître sa résistance à la compression. Généralement, une baisse de la résistance à la compression est observée au cours du chauffage.

De nombreux essais montrent une diminution de la résistance à la compression du béton entre 20 et 80°C. Suppose que cette baisse de résistance résulte de la réduction des forces de cohésion Van der Waals entre les feuillets de CSH qui conduirait à la formation de groupes silanols (Si-OH--HO-Si). Ces groupes présentent des forces de liaison plus faibles que les groupements siloxane (Si-O-Si). Ensuite, à partir de 80°C, le processus de séchage induit la réaction suivante: $\text{Si-OH--HO-Si} \rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}\uparrow$ et provoque un accroissement des forces de surface entre les particules de gel de CSH qui assurent la résistance de la pâte de ciment. En dépassant le seuil de 300°C, le béton ne contient plus d'eau et la résistance baisse progressivement sous l'effet de la température

Bethenod a testé les bétons de fibres de polypropylène avec des dosages de 1 kg/m³; 2 kg/m³; 3 kg/m³ (Figure I.14). Les résultats ont montré une légère amélioration de la résistance à la compression des bétons fibrés par rapport aux bétons de référence. Le dosage de 2 kg/m³ présente les meilleures performances mécaniques de 200 à 600°C. L'auteur préconise le dosage de 2 kg/m³ comme un optimum parmi les trois dosages testés Les résultats de Khaliq [21] (voir figure I.14) et de Behnood [22] sur les bétons de fibres de

polypropylène (1 kg/m³) n'ont pas montré d'amélioration significative de la résistance à la compression avec l'évolution de température.

Il est possible que l'incorporation de fibres de polypropylène génère des porosités supplémentaires lors du traitement thermique du béton et réduise la résistance à la compression. De plus, les fibres métalliques (42 kg/m³) et le cocktail de fibres (42x1 kg/m³) n'ont pas donné d'effet favorable vis-à-vis de la résistance à la compression

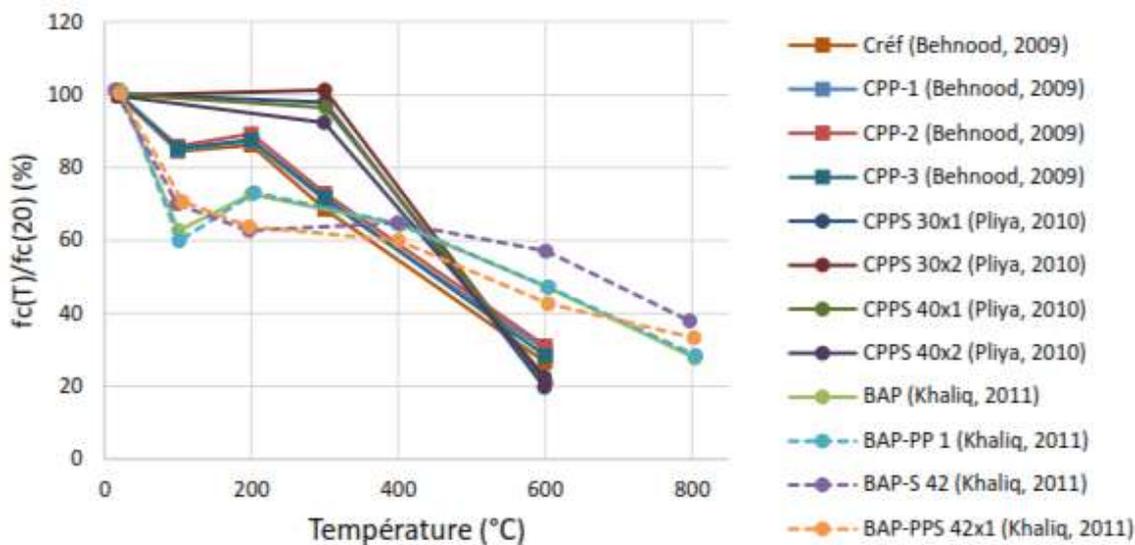


Figure I.14 Evolution de la résistance résiduelle relative à la compression de bétons de fibres métalliques, de polypropylène et de cocktail de fibres métalliques et polypropylène [21]

Les différents teneurs en fibres de polypropylène et métallique ne changent pas la cinétique de la perte de résistance à la compression (Figure I.13). Il est important de souligner, qu'il ne suffit pas d'ajouter le comportement des bétons de fibres de polypropylène et celui des bétons de fibres métalliques aux mêmes dosages afin d'obtenir le comportement à hautes températures des bétons de cocktail de fibres

✓ Résistance à la traction

Lors des incendies, des microfissurations apparaissent sur les parties sous tension de la structure. Une résistance élevée à la traction permet de limiter les dommages structurels de l'élément en limitant la propagation des fissurations notamment lorsque le processus d'écaillage est entamé. Comme dans le cas de la résistance à la compression, les résultats de la littérature affirment que la résistance à la traction résiduelle des bétons diminue sous le traitement thermique. Chen et al [23] ont testé la résistance à la traction par fendage des bétons à hautes performances (HSC) contenant des fibres de polypropylène (HSC-P), des fibres de carbone (HSC-C), des fibres métalliques (HSC-S) et trois cocktails de fibres métalliques (S), carbone (C) et polypropylène (P) (HSC-C-S, HSC-C-P et HSC-S-P) (Figure III.7). La résistance à la compression des

bétons sans fibres à 28 jours était de 82 MPa. Les bétons de fibres de polypropylène (0,6 % en volume) montrent une amélioration de la résistance résiduelle à la traction d'environ 20 % par rapport aux bétons sans fibres pour les températures de 600°C et 800°C. En ce qui concerne les bétons de fibres métalliques, les auteurs trouvent que la fraction volumique de 1 % (78 kg/m³) de fibres métalliques génère une amélioration de 40 % de la résistance résiduelle relative à une température de 400°C. À la température de 800°C, cette amélioration atteint 30 %.

D'après les résultats décrits par Suhandi [24] les fibres métalliques ont une forte influence sur la résistance à la traction résiduelle. Pour deux compositions de béton contenant un même volume de cocktail de fibres, les auteurs observent une résistance résiduelle relative à la traction de 72 % pour la composition contenant 0,5 % de fibres métalliques et 49 % pour la composition avec 0,25 % de fibres métalliques.

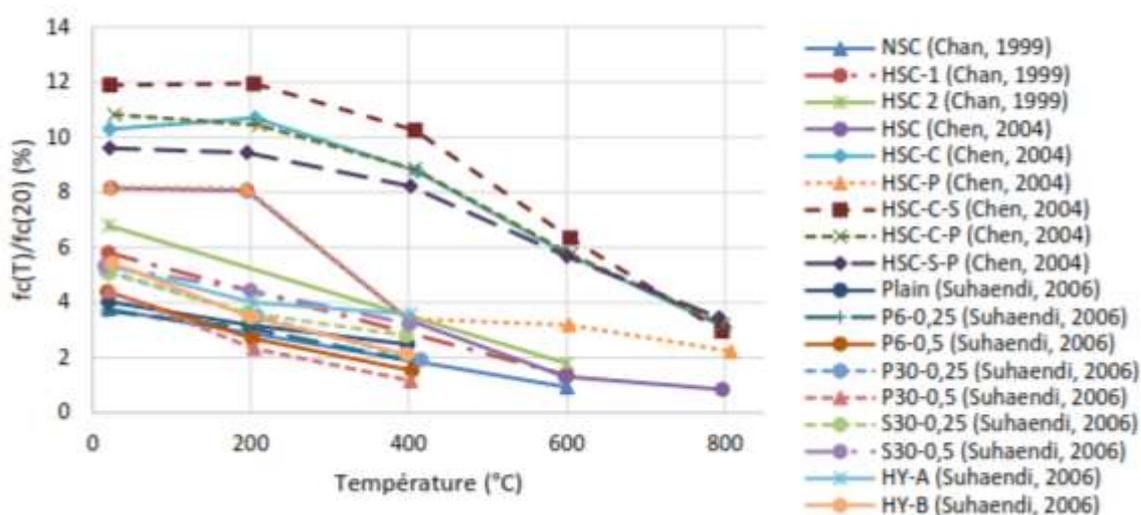


Figure I.15 Différents résultats de la résistance à la traction résiduelle relative [24]

Conclusion

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons autoplaçants et les bétons autoplaçants fibrés. Les principaux avantages que l'on peut tirer de ce chapitre sont :

- ✓ Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage
- ✓ De nombreuses structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration d'armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Afin d'adapter les bétons à ces ouvrages, des recherches ont été menées au cours des dernières années dans le but de développer des formulations de béton se caractérisant par une haute ouvrabilité, tout en étant stables (ségrégation, étalement et air occlus), avec de bonnes caractéristiques mécaniques et de la durabilité. Ainsi, des

bétons autoplaçants (BAP) ont été développés afin que la mise en place soit réalisée sans vibrations, seulement sous l'effet de la gravité, d'où le qualificatif d'autoplaçants.

- ✓ 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'élanement.
- ✓ Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.
- ✓ nous remarquons aussi que les propriétés mécaniques (résistance à la compression, résistance à la traction,) des bétons autoplaçants fibrés sont fortement influencées par les températures élevées, cette influence est remarquée aussi sur l'évolution de la matrice cimentaire (C-S-H) et sur les granulats des bétons.)

CHAPITE II: MATERIAUX ET FORMULATION

II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous avons décrits les différents constituants entrant dans la composition d'un béton autoplaçant tel que : (granulats, ciment, addition minérales, adjuvants et eau). Ainsi que leurs caractéristiques essentielles avec une description détaillée des modes opératoire pour chaque essai. Ces essais sont réalisés au niveau du laboratoire du département de génie civil à l'université de Badji-Mokhtar Annaba.

II.2 MATERIAUX UTILISES

II.2.1 .Le ciment :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe 42.5 provient de la cimenterie de Lafarge de M'silla. Dénommé Matine (CEM II/B 42.5) ciment gris pour béton de haute performance destiné à la construction des ouvrages d'art (ponts viaducs, tunnels.....). La composition chimique et minéralogique sont données aux tableaux II 1 et II 2. Les caractéristiques physiques sont données au tableau II.3.

Tableau 0-1 : composition chimique du ciment.

Oxyde	Sio ₂	Al ₂ O ₃	Cao	Fe ₂ O ₃	Mgo	So ₃	Na ₂ O
Teneur %	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

Tableau 0-2 : Composition minéralogique

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Teneur %	59	14	6	21

Tableau 0-3 : Caractéristique Physique de ciment Matine (CEM II/B 42.5)

Masse volumique absolue		g/cm ³	3.1
Consistance normal		%	26-28
La finesse (Blaine)		g/cm ³	4000-4200
Le Chatelier	A froid	Mm	00
	A chaud		
Temps de prise	Début	Min	2
	Fin		2 :30
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours	MPa	32
	28 jours	MPa	Plus de 42.5

II.2.2. Granulats

II.2.2.1. sable

Elément inerte entrant dans la composition des bétons .il peut être naturel, artificiel les caractéristiques principales requises pour un bon sable pour la fabrication d'un béton. Sa propreté définie par l'essai de l'équivalent de sable et sa granularité est déterminée par l'analyse granulométriques. Deux types de sable sont utilisés dans cette étude. Le premier est sable de dune et le deuxième est un sable de carrières de la wilaya de Guelma (el fedjouj) (voir la Figure II.1).



Figure II.1.Sable de deux types (dune et carrières)

Ces sables ils sont caractérisés par les essais physiques suivant :

A/ Analyse granulométrique et classes granulaires réelles

L'analyse granulométrique traduit la distribution pondérale des grains par classe granulaires.

L'essai consiste à séparer par tamisage au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimension décroissantes On appelle passant (ou tamisât), la partie de matériaux qui passe a travers les tamis et refus celle qui est retenue et le passant sont exprimés en pourcentage de la masse totale sèche M_s de l'échantillon analyse .L'essai est réalisé selon la norme [NF P 18-56].

Mode opératoire :

- Prélever (1kg) de matériau sable sec
- Peser chaque tamis à vide à 1g près, soit mi la masse du tamis
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des maille est respectivement de haut en bas :(5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0.08- 0.016-fond)
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes.
- Peser chaque tamis séparément à 1g près.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumulé du tamis 2 (R2R1+ Refus partiel sur tamis).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masse des différents refus cumulés R3,R4.....

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivant : $T = 100 - Rc$ ou

T: Tamisât en (%) ; RC : Refus cumulés en (%)

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivant et illustré par la figure II.2 :

Tableau 0-4 : Analyse granulométrique de sable dune (0/2) Tébessa

Tamis	Mi(g)	ai %	Ai	Tamis
5	0	0	0	100
3,15	0	0	0	100
2,5	0	0	0	100
1,25	55,3	5,55	5,55	94,44
0,63	198,8	19,97	25,53	74,46
0,315	444,7	44,69	70,23	29,76
0,16	233,8	23,50	93,73	6,27
0,08	49,9	5,02	98,74	1,26
FOND	12,5	1,26	100,00	0,00
total	995	//	//	//

Tableau 0-5 : Analyse granulométrique de sable carrières Guelma (EL-Fedjouj)

TAMIS	Mi(g)	ai%	Ai	Tamisat
5	0	0	0	100
3,15	73	7,34	7,34	92,66
2,5	98	9,85	17,19	82,81
1,25	294	29,55	46,73	53,27
0,63	203	20,40	67,14	32,86
0,315	125	12,56	79,70	20,30
0,16	108	10,85	90,55	9,45
0,08	78	7,84	98,39	1,61
Fond	16	1,61	100	0
total	995	100	100	0

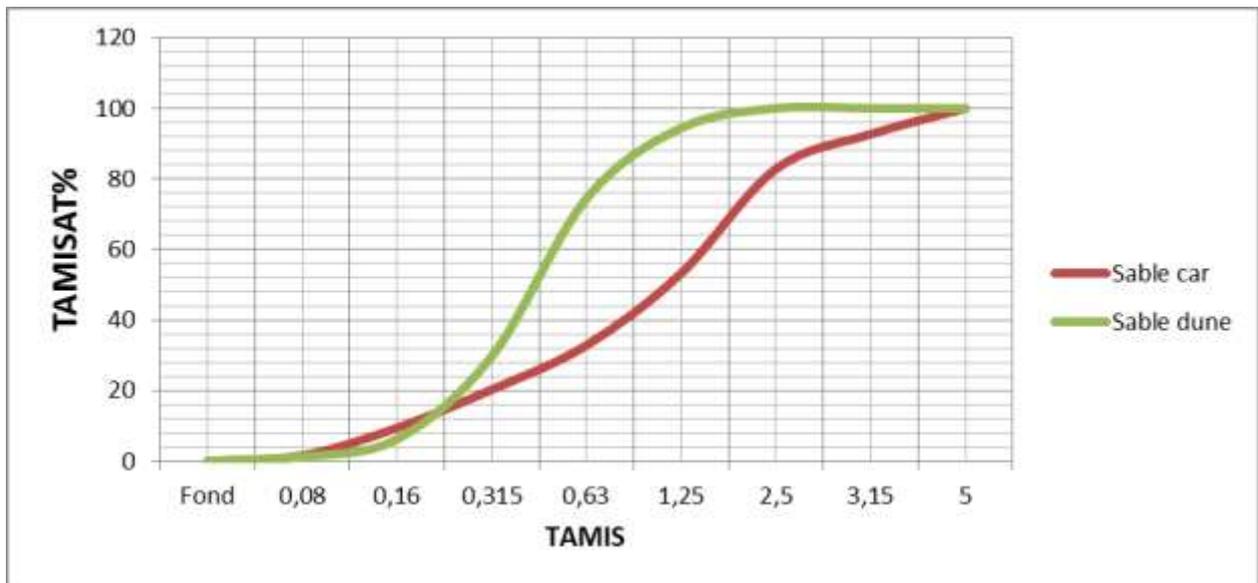


Figure II.2 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de dune et sable de carrière

L'équipement utilisé est représenté à la figure II.3



Figure II.3 : Image de l'analyse granulométrique des sables utilisés

B/.Module de finesse (FM) :

Le module de finesse (FM) est défini comme étant la somme des pourcentages ramenés à l'unité des refus cumulés sur la série de tamis d'ouvertures suivant : (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5). L'essai a été réalisé selon les modalités de la norme [NFP 18-540]

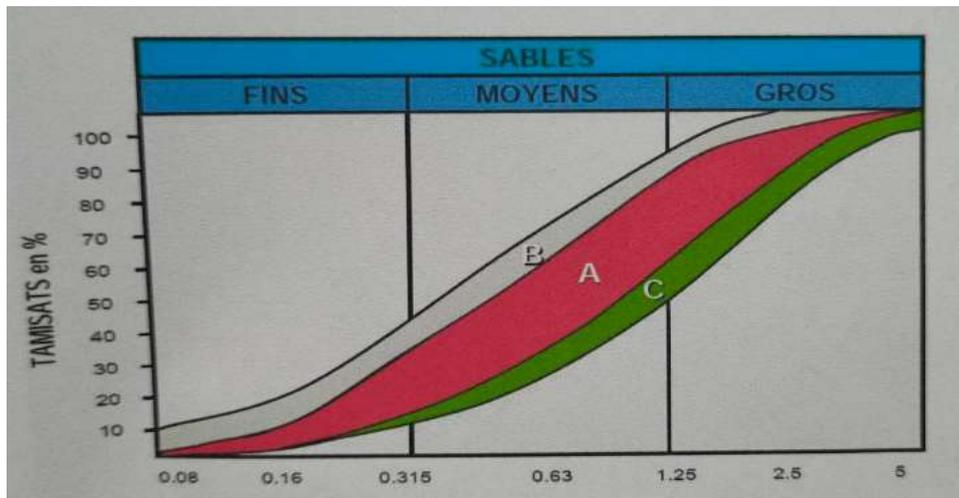


Figure II.4 : Module de finesse (valeur série françaises)

Sable grossier(C) : $2.8 < MF < 3.2$

Sable préférentiel (A) : $2.2 < MF < 2.8$

Sable fin (B) : $1.8 < MF < 2.2$

Les résultats obtenus sont :

Pour le sable de dune : $MF = \sum (RC)/100$ $MF = (5+2,5+1,25+0,63+0,315+0,16)/100$ $MF=1.98$

On se basant sur cette classification on trouve le résultat suivant **sable fin.**

$1.8 < MF < 2.2$

Pour le sable de carrière : $MF=3.01$ c'est un sable grossier

C/ Equivalent de sable (ES) Selon la Norme NF P 18-598 :

Un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'un grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d'« essai d'équivalent de sable piston » ou, plus simplement, d'« essai d'équivalent de sable ».

• Principe de l'essai :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur hauteur totale

• Conduite de l'essai

- ✓ Prendre 500gr de l'échantillon de sable passant au tamis 5mm
- ✓ Dans une éprouvette graduée, siphonner la solution lavant jusqu'à une hauteur de 10cm.

- ✓ Verser soigneusement une mesure de 120 gr de l'échantillon, à l'aide de l'entonnoir, dans l'éprouvette placer verticalement.
 - ✓ Taper à plusieurs reprises la base de l'éprouvette cylindrique fortement sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser un bon mouillage de l'échantillon, laisser reposer 10 minutes.
 - ✓ Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, la secouer horizontalement 90 fois aller-retour en 30secondes avec une course d'environ 20 cm. En suite placer l'éprouvette verticalement.
 - ✓ Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavant, réglée à un faible débit. En descendant le tube laveur dans l'éprouvette, rincer les parois, puis enfoncer le tube jusqu'au fond pour laver le sable et faire remonter les particules argileuses.
 - ✓ Arrêter les l'écoulement lorsque le niveau du liquide atteint le repère supérieur 38 cm, relever ensuite lentement le tube laveur.
 - ✓ Laisser reposer, sans perturbation, pendant 20 minutes.
 - ✓ Au bout de ces 20 minutes mesurer h1, h2, h'2.
- **h1** : hauteur du sable.
 - **h2** : hauteur des éléments fins pris à partir du piston

L'équivalent de sable et déterminer par : $Es : (h2/h1) \times 100$

Tableau 0-6 : Classification des Sols en fonction de L'équivalent de sable

Es à vue	Es au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de Qualité
65% < ES < 75%	60% < ES < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75% < ES < 85%	70% < ES < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES > 85%	ES > 80%	Sable très propre . L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

La procédure de détermination de l'équivalent du sable est donnée au niveau de la figure II.4 montre.



Figure II.5 : Image de l'essai de l'équivalent de sable dune

Les résultats obtenus sont :

$H_1=10\text{cm}$; $H_2=7.9\text{cm}$

Es : $(h_2/h_1) \times 100 = (7.9/10) \times 100$ ES= 79% , Alors le sable est propre.

D/. Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en (gr/cm³, kg/m³, T/m³)

• **Mode opératoire :**

- ✓ Remplir l'éprouvette échantillon graduée avec un volume d'eau $V_e=400\text{ml}$
- ✓ Peser un échantillon sec $M= 300 \text{ g}$ de granulats
- ✓ Introduire les granulats dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air
- ✓ Lire le nouveau volume V

• Calculer la masse volumique absolue :

$$\rho_{\text{abs}} = M/V_{\text{abs}}$$

Les résultats de la masse volumique sont donnés aux tableaux II.7 et II.8

Tableau 0-7 : La masse absolue de sable dune

ESSAI	M g	V1	V2	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} MOY
1	300	400	515	2,61	2,57
2	300	400	515	2,61	
3	300	400	520	2,5	

Tableau 0-8 : La masse absolue de sable carrières

ESSAI	M g	V1	V2	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} MOY
1	300	400	500	3,00	2,70
2	300	400	515	2,61	
3	300	400	520	2,5	

E/. Masse volumique apparente

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris les vides existant entre les grains.

• **Mode opératoire :**

- ✓ On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 litres.
- ✓ On remplit le l'entonnoir avec du sable sec.
- ✓ On pèse le récipient vide M1.
- ✓ On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable
- ✓ Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. soit M2 ce poids.
- ✓ Volume de récipient $V_r = 1000\text{cm}^3$

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M2 - M1)}{V_r}$$

Tableau 0-9 : La masse volumique apparente de sable dune

ESSAI	M1	M0	MVapp	MV app moy
1	2400	910	1.49	1,49 g/cm ³
2	2405	910	1.50	
3	2420	910	1.51	

Tableau 0-10 : La masse volumique apparente de sable de carrière

ESSAI	M1	M0	ms app	MV app moy
1	2440	910	1.53	1.52 g/cm ³
2	2430	910	1.52	
3	2445	910	1.53	

II.2.2.2 Gravier

Elément inerte entrant dans la composition des bétons , son origine est naturelle ou artificiel. Dans cette étude nous avons utilisé deux fractions (3/8) et (8/15).le gravier utilisé de Guelma (Fedjouj) est caractérisé par les essais physiques suivant :

- Analyse granulométrique.
- Détermination de la masse volumique absolue.
- Détermination de la masse volumique apparente.

A/ Analyse granulométrique et classes granulaires réelles : les résultats de l'analyse granulométriques des deux graviers sont donnés aux tableaux II.11 et II.12

Tableau 0-11 : Analyse granulométrique du gravier (3/8)

TAMIS	M g	ai %	Ai	Tamisât
8	0	0	0	100
6,3	310	19,44	19,44	80,56
5	510	31,97	51,41	48,59
4	605	37,93	89,34	10,66
3,15	135	8,46	97,81	2,19
Fond	35	2,19	100	0
tt	1595	100	100	0

Tableau 0-12 : Analyse granulométrique du gravier (8/16)

TAMIS	M g	ai %	Ai	Tamisat
16	5	0,17	0,17	99,83
14	165	5,51	5,68	94,32
12,5	275	9,18	14,86	85,14
10	1490	49,75	64,61	35,39
8	880	29,38	93,99	6,01
fond	180	6,01	100	0
tt	2995	100	100	0

Les courbes granulométrique des quatre fractions de granulats sont représentées au niveau de la figure II.5

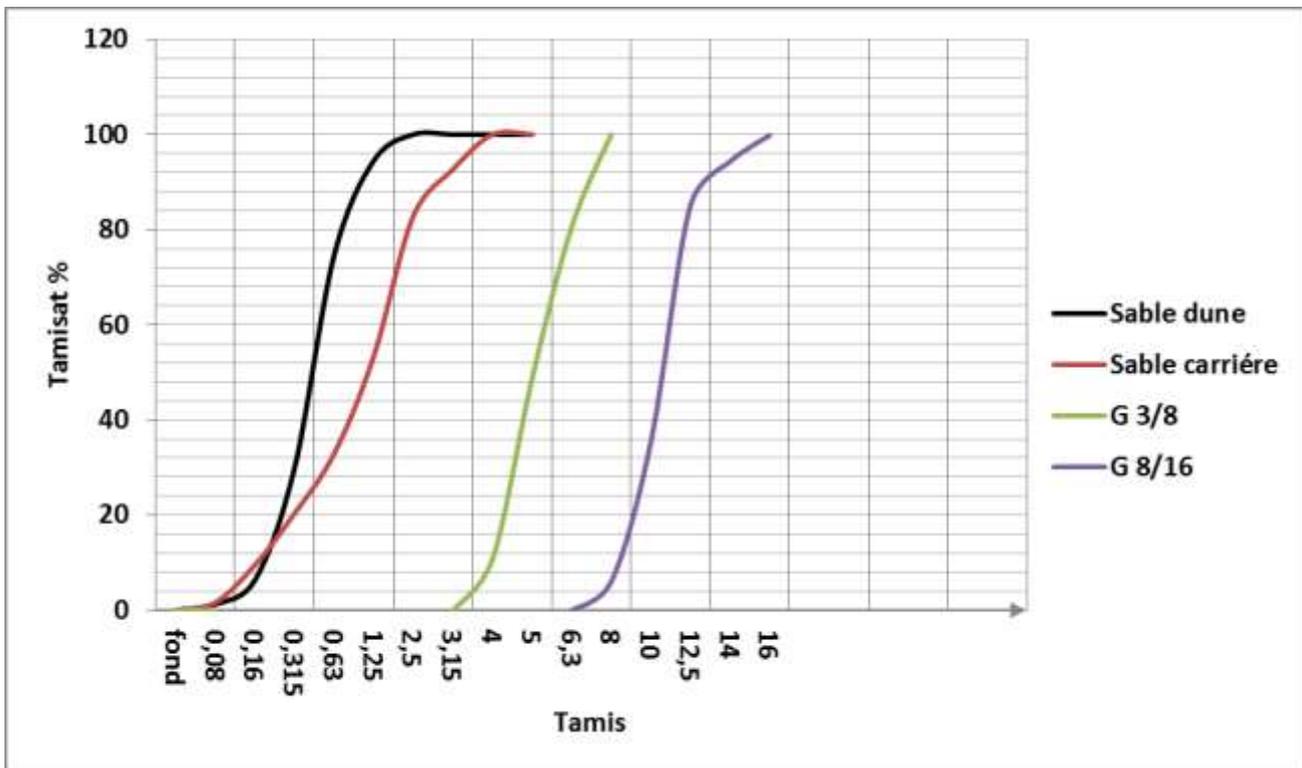


Figure II.6. L'analyse granulométrique des différents granulats utilisée.

B/.Masse volumique absolue

Le mode opératoire est le même que celui utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux II 11 et II 12 suivant :

Tableau 0-13 : La masse volumique absolue du gravier (3/8)

ESSAI	M	V1	V2	MV ABS	ρ_s
1	300 g	400 cm ³	512 cm ³	2,6 g/cm ³	2,7 g/cm ³
2	300 g	400 cm ³	510 cm ³	2,7 g/cm ³	
3	300 g	400 cm ³	510 cm ³	2,72 g/cm ³	

Tableau 0-14 : La masse volumique absolue du gravier (8/16)

ESSAI	M	V1	V2	MASS APP	ρ_s
1	300 g	400 cm ³	510 cm ³	2,72 g/cm ³	2,7 g/cm ³
2	300 g	400 cm ³	510 cm ³	2,7 g/cm ³	
3	300 g	400 cm ³	508 cm ³	2,77 g/cm ³	

C/. Masse volumique apparente [NF P 18 – 554]

Les résultats de la masse volumique apparente sont donnés aux tableaux II.12 et II.13

Tableau 0-15 : La masse volumique apparente du gravier (3/8)

ESSAI	M0	M1	MASS APP	Mas app moy
1	210 g	1545 cm ³	1,335 g/cm ³	1.43 g/cm ³
2	210 g	1580 cm ³	1,37 g/cm ³	
3	210 g	1550 cm ³	1,34 g/cm ³	

Tableau 0-16 : La masse volumique apparente du gravier (8/16)

ESSAI	M1	M0	MASS APP	Mas app moy
1	1660 g	120 cm ³	1,54 g/cm ³	1.45 g/cm ³
2	1660 g	120 cm ³	1,55 g/cm ³	
3	1680 g	120 cm ³	1,53 g/cm ³	

L'ensemble des caractéristiques des granulats utilisés dans notre étude sont regroupés au tableau II.14.

Tableau 0-17 : Résultats des essais d'identification des granulats

Désignation des essais	Echantillons			
	G (3/8)	G (8/16)	Sable dune	Sable de carrière
La masse volumique apparente g/cm ³	1.35	1.54	1.62	2.11
La masse volumique absolue g/cm ³	2.7	2.7	2.57	2.70
Equivalent de sable (%)	//	//	79	//
Module de finesses	//	//	1.98	//

II.2.3. filler utilisé :

Le filler utilisé dans notre travail est un laitier granulé broyé pendant 10h (voir la figure II.6). La composition chimique du laitier peut varier dans de larges limites, suivant la pureté du minerai, la nature et la qualité du fondant, la nature du combustible et le procédé employé. Généralement les concentrations en oxydes varient pour la chaux (CaO) de 30 à 50 %. La silice (SiO₂) de 28 à 38 %, l'alumine (Al₂O₃) de 8 à 24 %, le soufre (S) de 1 à 2.5 %. Les caractéristiques physiques du laitier granulé sont données au tableau II.15.



Figure. II.7.Laitier granulé broyé pendant 10h.

Tableau 0-18: Caractéristiques des Laitier granulé

Caractéristiques	Unités	Calcaire
Masse volumique apparente	kg/m ³	De 900 à 1000
Masse volumique absolue	Kg/m ³	De 2800 à 2900
Finesse de Blaine(SSB)	Cm ² /g	3900

II.2.4.fibres utilisées

Trois types de fibres sont utilisées dans notre étude à savoir : fibres métalliques de forme crochet de 5 cm, fibres végétales d'alfa de 5 cm et 2.5 cm et fibres polypropylènes.

A/ les fibres métalliques de forme crochet 5cm :

Les fibres Sika® Metal Fibres-50 RL sont fabriquées à partir de fibres tréfilées à ancrage par crochets aux extrémités. Le dessin de la fibre et les caractéristiques de l'acier utilisé assurent le désencrage progressif du renforcement intergranulaire, et empêchent la rupture fragile du béton fibré. (voir la figure II.7)



Figure II.8: Fibre métallique de forme crochet de 5 cm .

On utilise ce type de fibre dans :

- ✓ Dallages industriels.
- ✓ Voiries - Bétons préfabriqués.
- ✓ Zones de manutention portuaires ou aéroportuaires.

Grâce à la nature de l'acier qui les constitue et au système d'ancrage mécanique dont elles sont dotées aux extrémités, les Sika® Metal Fibres-50 RL présentent des caractéristiques de grande résistance à l'arrachement et à la traction. Incorporées dans les bétons, les Sika® Metal Fibres-50 RL leur confèrent les propriétés suivantes :

- ✓ Ductilité grâce à la capacité des matériaux à se déformer pour des efforts élevés sans diminution significative de la résistance,
- ✓ Ténacité liée à la redistribution des contraintes et l'amélioration de l'absorption d'énergie nécessaire à la rupture,
- ✓ Contrôle de la fissuration grâce à la reprise des contraintes qui permet de maîtriser l'ouverture des fissures en s'opposant à leur propagation

Les Sika® Metal Fibres-50 RL, utilisées dans les bétons pour dallages industrielles via une note de calcul renseignée par le demandeur.

- **Caractéristique de fibres métalliques utilisées :**
- Nature..... Fil d'acier tréfilé sans revêtement.
- Longueur.....50 mm
- Diamètre.....1.05mm.
- Elancement.....48.
- Nombre de fibres.....2800fibre/kg.
- Résistance en traction.....1000 MPA(sur fil).

B/.Les fibres végétale d'Alfa :

Les fibres Halfa sont récoltées de la région de Khenchla (Algérie) .Elle sont une touffe d'herbe, constituée de tiges de forme cylindrique d'une hauteur maximale d'environ 1m avec une surface spécifique de $3\text{m}^2/\text{g}$.

Les fibres H'alfa sont principalement composées de 45% de cellulose, 24% d'hémicellulose , 24% de lignine,2% de cendres et de 5% de cire, les faisceaux de fibres Alfa sont caractérisés par un diamètre moyen de 113um (90-120um) et une densité de $0.89\text{g}/\text{cm}^3$



Figure II.9 : Fibre végétales H'Alfa

- **Caractéristiques :**
- Longueur.....1m.
- Diamètre.....1mm.
- Densité.....0.89g/cm³.
- Résistance en traction.....211.59(MPA).

Pour notre étude nous avons utilisés deux type de longueur pour les fibres Halfa (5 cm et 2.5 cm).



Figure II.10 : Fibre végétales Halfa de 2.5 cm



Figure II.11 : Fibre végétales Halfa de 5 cm

C/.Les fibres polypropylène

Les fibres utilisées sont des fibres polypropylène Sika® Fibre 12-34 multi filament 100% vierge de haute qualité spécialement traitées pour faciliter leur dispersion. Elle se présente en sacs palpables pré-dosés pour béton ou micro-béton.

On utilise ce type de fibre pour :

- ✓ Améliore la cohésion à l'état frais
- ✓ Limite le fâiencage et des fissurations dues au retrait plastique
- ✓ Augmente la résistance aux chocs

Le domaine d'utilisée ce type de fibre :

- ✓ Dalles et Dallages
- ✓ Eléments préfabriqués
- ✓ Chape en micro-béton
- ✓ Pistes d'aéroport



Figure II.12 : Fibre polypropylène

- **Caractéristiques :**

- Longueur.....12mm.
- Densité.....0.9g/cm³
- Allongement à la rupture.....50%
- Module de Young.....3KN/mm²
- Section de la fibre..... 30microns

II.5. Adjuvants :

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant Sika® ViscoCrete®-4032 RMX peut être utilisé dans tous les bétons et avec tout type de ciment Portland. Sika® ViscoCrete®-4032 RMX complète l'entrée de gamme existante des ViscoCrete®. L'utilisation d'une base chimique innovante dans sa composition permet d'obtenir des temps d'ouvrabilité plus longs en adaptant le dosage du produit.

- **DESCRIPTION DU PRODUIT**

Conditionnement	Fût de 200 kg ▪ Cubitainer de 1100 kg ▪ Vrac
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Aspect / Couleur	Liquide marron
Densité	1,100 à 1,110
Valeur pH	4 à 6
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1%
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 3,0%

- **RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION**

Plage de dosage: 0,4% à 2,5% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

II.6.Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet de notre laboratoire de génie civil.

II.7.Formulation de béton auto plaçant :

Introduction :

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces

bétons dans de nombreuses applications. Certains points restent cependant à améliorer pour en étendre l'emploi.

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant: sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité.

La formulation d'un tel béton est donc plus complexe que celle d'un béton traditionnel et implique une composition spécifique.

Nous avons choisi de présenter les caractéristiques des BAP et d'aborder la complexité du matériau selon ses trois principales caractéristiques :

- ✓ la fluidité par essai d'étalement
- ✓ L'homogénéité par l'essai de stabilité sur tamis.
- ✓ Ecoulement par l'essai de la boîte en L

En plus de la capacité à se compacter de lui-même, les propriétés les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité, et la résistance envers la ségrégation.

L'existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés sur béton frais. Ils vont du complexe et coûteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant la mesure de l'étalement (Slump flow).

Il est possible de caractériser les propriétés rhéologiques d'un béton BAP au moyen du cône servant à la mesure du slump ainsi qu'au moyen de la boîte en L .

Les divers procédés d'essai fréquemment utilisés sont présentes dans le dernier chapitre.

II.7.1.Méthode utilisée :

Pour notre étude de formulation des BAP ont a utilisé la méthode japonaise.

- **Méthode japonaise proposée par Okamura**

Le principe de cette méthode est le suivant :

- ✓ la teneur volumique en gravillons du béton est fixée à 50 % du volume du solide.
- ✓ le volume du sable est fixé à 40% du volume total du mortier.
- ✓ l'optimisation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40 %
- ✓ l'eau, superplastifiant et les fines sont ajustés pour les mortiers pour obtenir une viscosité suffisante et une fluidité importante.

L'étalement relatif D est donné par l'équation :

$$D = \frac{(d^2 - d_0^2)}{d^2}$$

D Etalement relatif

d est le diamètre de la galette et d0 la base du cône (en cm)

Pour cette méthode de formulation on va déterminer :

Pour un B.A.P (témoin)

- Dosage en ciment
- Le dosage Totale du Gravier.
- Le dosage Totale de mortier ($V_t - V_g$)
- Le dosage du sable (40% V_m)
- Le dosage du fillers (Le rapport $F/C+F=0.36$)
- Le dosage en eau (Le rapport $E/L=0.35$)
- Le dosage en superplastifiant (Le rapport $SP/L=0.9\%$) on vise un étalement de 660 à 750 mm

V_t : volume totale (1000L ou $1M^3$)

V_g : volume du total gravier

V_m : volume totale de mortier.

Pour la composition de béton autoplaçant fibrés et pour éviter des problèmes d'ouvrabilité et de ségrégation à l'état frais et augmente aussi le cout final du matériau.

Dans notre cas et afin d'éviter ces inconvénients. Nous réduisons le volume des fibres de du volume des granulats (G3/8, G8/16, sable de carrière).

II.7.2.Dénomination des bétons autoplaçant étudiés :

Un total de 06 mélanges a été testé dans cette étude :

- **B.A.P.T** : Un béton autoplaçant non fibré (témoin).
- **B.A.P.F.M1** : un béton autoplaçant fibré avec 1% de fibre métallique a crochet de 5cm de longueur.
- **B.A.P.F.M2** : un béton autoplaçant fibré avec 0.6% de fibre métallique a crochet de 5cm de longueur.
- **B.A.P.F.P** : un béton autoplaçant fibré avec 1% de fibre polypropylène.
- **B.A.P.F.V1** : un béton autoplaçant fibré avec 1% de fibre végétales (Halfa) de 5cm de longueur.
- **B.A.P.F.V1** : un béton autoplaçant fibré avec 0.6% de fibres végétales (Halfa) de 2.5 cm de longueur. La composition des déférents bétons d'étude sont récapitulés au tableau (II.1)

Tableau II.19 : Composition des B.A.P d'étude pour $1m^3$

Composants	Unité	B.A.P témoin	B.A.P avec fibre polypropylène	B.A.P avec fibre métallique		B.A.P avec fibre végétales	
				1%	0.6%	1%	0.6%
Ciment 42.5	KG	350	350	350	350	350	350
Sable de dune	KG	297.44	297.44	297.44	297.44	297.44	297.44

Sable de carrière	KG	463.32	463.32	458.32	460.32	460.32	460.32
Gravier (3/8)	KG	307.8	307.8	307.8	307.8	307.8	307.8
Gravier (8/16)	KG	465.12	464.92	459.92	462.12	462.12	462.12
Adjuvant SP	KG	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.96
EAU	L	191.40	191.40	191.40	191.40	191.40	191.40
Le rapport F/C+F	/	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Le rapport SP/L	/	0.9%	0.9%	1%	1%	1%	1.2%
Le rapport E/L	/	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Le rapport G/S	/	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

II. 8. Procédure de préparation des éprouvettes

II.8.1 Séquences de malaxage

Le béton a été gâché dans une bétonnière de capacité de 20 litres tout en respectant les références normatives [NF EN 12390-1 2001] et [NF 12390-2 2001]. La procédure de malaxage se diffère selon le type du béton et les constituants entrant dans leurs formulations.

Dans notre cas deux procédures de malaxage sont utilisées, la première concerne le béton autoplaçant témoin sans fibre, et la deuxième pour le béton fibrés.

Afin de limiter la formulation des oursins durant le malaxage, les fibres sont introduites a en dernier après l'eau de gâchage et le superplastifiant.

II.8.2 Les séquences de malaxage pour le béton témoins (sans fibre) :

- Malaxage à sec des granulats (30 seconde).
- Introduction du ciment (30 seconde).
- Malaxage à sec (1minute).
- Introduction de 75% de l'eau de gâchage et malaxage (1minute)
- Ajout de 25% de quantité d'eau de gâchage avec le superplastifiant et malaxage (2 minutes)
- Vidange de la bétonnière.

II.3.3 Les séquence de malaxage pour le béton fibrés :

- Malaxage à sec des granulats (30 seconde).
- Introduction du ciment (30 seconde).

- Malaxage à sec (1minute).
- Introduction de 75% de l'eau de gâchage et malaxage (1minute).
- Ajout de 25% de quantité d'eau de gâchage avec le superplastifiant et malaxage (2 minutes)
- Introduction des fibres (15 seconde).
- Homogénéisation du mélange (2 minutes)
- Vidange de la bétonnière

II.8.4 Conservation et cure des éprouvettes :

Après la réalisation des essais de caractérisation du béton à l'état frais (Étalement, Boite en L , stabilité au tamis et masse volumique) on procède au remplissage de type de moules (éprouvette cubique 10*10*10 et poutre prismatique 10*10*40 qui seront détaillés ultérieurement.

Les moules sont préalablement huilés afin de permettre un décoffrage plus facile.

Pour notre Béton autoplaçant on ne fait pas de vibration.

Après 24h on procède au démoulage des moules, ensuite les éprouvettes sont conservés sous l'eau dans des bacs de conservation normalisés.

II.9.Conclusion

Dans ce chapitre on a caractérisé les différents matériaux utilisés dans cette étude. Les essais physiques, les analyses chimiques et le analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentale

Dans cette partie, on a utilisé la méthode japonaise pour la formulation des bétons autoplaçant

Avec une explication sur les séquences de mélanges pour les différents BAP à étudier.

CHAPITE III: RESUTATS ET INTERPRETATIONS

III. Introduction

Dans ce chapitre on va étudier le comportement rhéologique des BAP (Étalement, Boîte en L, stabilité au tamis et masse volumique). Et comprendre l'effet de la nature, du dosage et la longueur des fibres sur le comportement des bétons autoplaçant à l'état frais une série d'essais a été réalisée dans le but d'approfondir la connaissance du comportement des B.A.P fibré à l'état frais et nous allons décrire le comportement mécanique des B.A.P fibrés à travers la caractérisation et l'analyse des tests de la résistance en compression, la traction par flexion et ainsi d'étudier l'influence de la température (600°) sur les B.A.P fibrés. Avec l'interprétation des courbes charges-déplacement et charge ouverture de fissure.

III.1. Propriétés des bétons autoplaçant à l'état frais

III.1.1 Étalement au cône d'Abrams :

A/. Procédure expérimentale

L'ouvrabilité des bétons autoplaçant est caractérisée par:

- La mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement).
- La mobilité en milieu confiné (décrite par la boîte en L) ;
- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage, décrite par l'essai de stabilité au tamis).
- La masse volumique du béton autoplaçant.

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams. Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

L'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton.

• Mode opératoire

- S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque ainsi que le cône d'Abrams (éliminer l'eau en excès avec le chiffon humide il y a lieu de ne plus avoir d'eau libre en surface de la plaque et du moule).
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.
- Prélever un échantillon de béton représentatif

- Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un seau directement à la goulotte du mixer. 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).
- Equiper la partie supérieure du cône de l'entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, à l'aide du seau, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide
- Soulever le cône verticalement. L'enlèvement du moule doit se faire, par une remontée verticale régulière sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, en maximum 5 s. Maintenir le moule au-dessus du béton minimum 10 s et à une hauteur (par rapport à la base du moule) de maximum 30 cm. L'ensemble des opérations, depuis le début du remplissage jusqu'à l'enlèvement du moule, doit être réalisé sans interruption et terminé en moins de 150 s.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré (au centimètre le plus proche) l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires.



Figure III.1. Essai d'étalement de B.A.P (témoin)



Figure. III.2 Essai d'étalement de BAP.FP



Figure. III.3 Essai d'étalement de BAPF.M1



Figure. III.4. Essai d'étalement de BAPF.M1



Figure III.5.Essai d'étalement de B.A.P.F.V1



Figure. III.6 Essai d'étalement de BAP.FV2

B/ résultats

Les différents essais d'étalements sont donnés au tableau III.1 :

Tableau III.1.Essai d'étalement des différents Béton autoplaçant

Type de béton	B.T	B.A.P.P	B.A.P.F.M 1	B.A.P.FM 2	B.A.P.V 1	B.A.P.V 2
Etalement (cm)	78.5	72	74	75.5	60	73

III.4.1.1.Effet de la nature le dosage et la longueur des fibres sur l'ouvrabilité :

L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la maniabilité est illustré par la figure (III.7) :

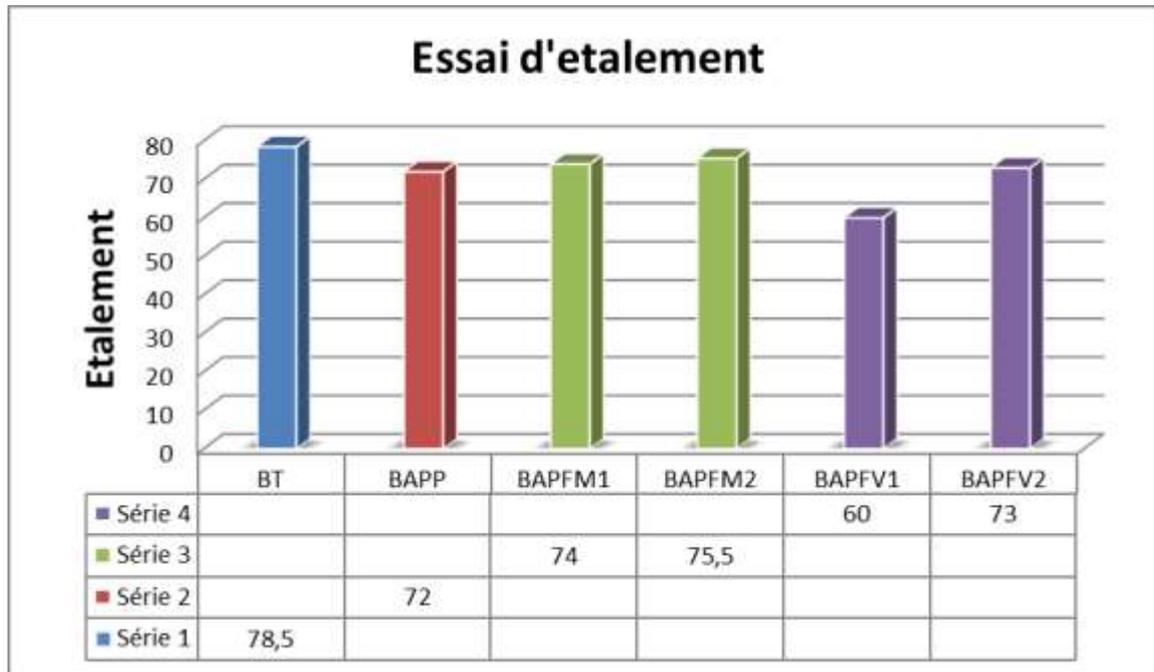


Figure.III.7. L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la la maniabilité (écoulement non confiné)

D'après la figure III.7 on constate globalement une diminution de la maniabilité quel que soit le dosage et la nature des fibres par rapport au B.A.P témoin cette diminution est attribuée à la cohésion apportée par l'introduction des fibres.

La maniabilité caractérisée par l'étalement est plus affectée par la quantité croissante de fibres métalliques. Cette perte d'ouvrabilité est due à un enchevêtrement et à un frottement accru entre les fibres et les granulats.

La géométrie des fibres végétales est lisse et aucun crochet n'affecte l'ouvrabilité du moins à condition de diminuer la longueur et le dosage des fibres.

III.2. Essai à la boîte en L : [la norme EN 12350 – 101] (écoulement au milieu non confiné)

A/. Procédure expérimentale

La cohésion armée peut se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L.

La boîte en L permet de tester la mobilité de béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

- **Mode opératoire :**

La parie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulat en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation

A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton.

Voici quelque photo de l'essai de boîte on L pour déférent type de BAP :



Figure.III.8.Essai de boîte en L pour BAP.T



Figure.III.9.Essai de boîte en L pour BAP.FM 1(blocage)

B/ résultats

Les différents essais de la boîte en L sont donnés au tableau III.2 :

Tableau III.2.Essai de Boîte en L des différents Béton autoplaçant

Type de béton	B.A.P.T	B.A.P.P	B.A.P.F.M 1	B.A.P.F.M 2	B.A.P.V 1	B.A.P.V 2
H2 / H1	0.68	0.76	Blocage	Blocage	0.89	0.86

III.4.2.1.Effet de la nature, du dosage et de la longueur des fibres sur la mobilité:

L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la mobilité est illustré par la figure (III.10) :

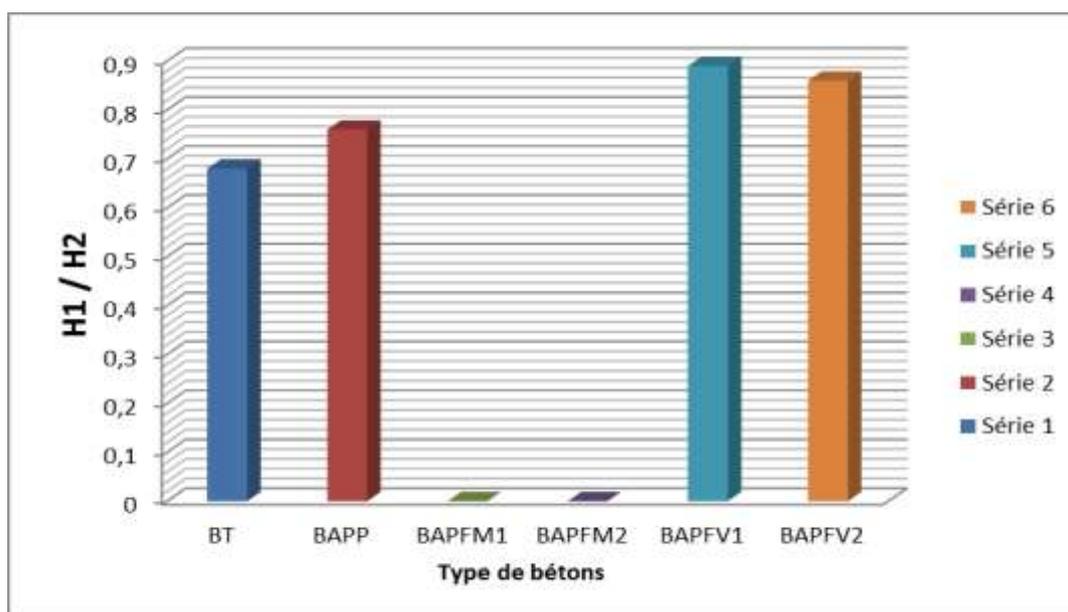


Figure.III.10. L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la mobilité

D'après les résultats présentés dans le tableau **III.2** et la figure **III.10** .on remarque d'une part une augmentation de rapport H2/H1 avec l'augmentation de dosage de fibre (polypropylène et fibre végétale).

D'autre part, on remarque un blocage entre les barres pour les bétons autoplaçant avec des fibres métalliques a crochet de 5 cm voir figure **III.10**.cela est dû à la longueur élevée des fibres par rapport à la distance des barres de la boîte en L.

III.1.3.Stabilité au tamis NF EN 12 350-11:

A/. Procédure expérimentale

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 %

- **Mode opératoire :**

- En laboratoire : Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau.
- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement <30s
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 mn.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis fond sur la bascule
- Faire la tare.
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15mn
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
- Noter le poids réel lu de l'échantillon.
- Attendre 2 mn.
- Faire la tare

On calcule la laitance avec la formule suivante :

$$\delta = (P \text{ laitance} / P \text{ échantillon}) * 100$$

La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton auto plaçant de la façon :

- $0\% \leq \%P \text{ laitance} \leq 15\%$ **stabilité satisfaisante.**
- $15\% < \% P \text{ laitance} \leq 30\%$ **stabilité critique** (essai de ségrégation à réaliser in situ)

- % P laitance > 30 **stabilité très mauvaise** (ségrégation systématiquement, béton inutilisable). Par ailleurs, la détection d'eau de ressuage lors de l'essai n'est pas acceptable.



Figure.III.11.Essai de stabilité de tamis à laboratoire

B/ résultats

Les différents essais de stabilité au tamis sont donnés au tableau III.3 :

Tableau III.3.Essai de laitance des différents Béton autoplaçant

Type de béton	B.T	B.A.P.P	B.A.P.F.M 1	B.A.P.F.M 2	B.A.P.V 1	B.A.P.V 2
P laitance (%)	4.5	1.4	/	/	13.54	10.48

III.4.3.1.Effet de la nature, du dosage et de la longueur des fibres sur la laitance:

L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la laitance est illustré par la figure (III.12) :

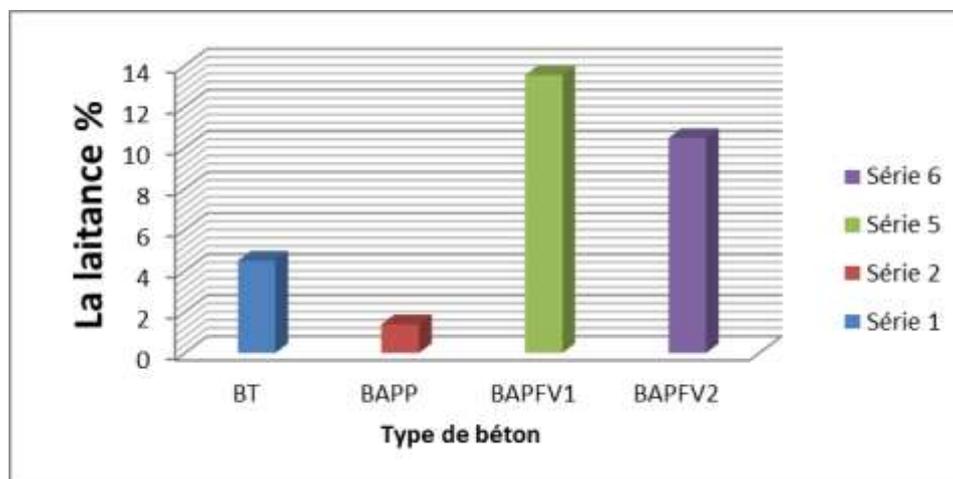


Figure.III.12. L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la laitance

D'après les résultats présentés dans la figure III.11, on remarque que la laitance des B.A.P testé (B.A.PT, BAPP, BAPFV1, BAPFV2) est respectivement de l'ordre de (4.5-1.4-13.54-10.48) ce qui présente une **stabilité est satisfaisante.**

On remarque que la stabilité est élève pour les B.A.P en fibres végétales par apport les B.A.P en fibres polypropylènes.

Pour les B.A.P en fibres métalliques le test de stabilité sur tamis n'a pas été réalisé à cause de blocage observé lors de l'essai de la boîte en L.

III.1.4.La Masse volumique des bétons autoplaçant

A/. Procédure expérimentale

Les éprouvettes essuyées et nettoyées sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000. La masse volumique est alors calculée en divisant la masse sur le volume de l'éprouvette.

C'est-à-dire : $\rho = M/V$



Figure.III.13La masse volumique du béton autoplaçant

B/ résultats

Les déférents essais de la masse volumique sont donnés au tableau III.4 :

Tableau III.4 Essai de la masse volumique de Béton autoplaçant

Type de béton	B.A.PT	B.A.P.P	B.A.P.F.M 1	B.A.P.FM 2	B.A.P.V 1	B.A.P.V 2
masse volumique (Kg/m³)	2501	2498	2587	2541	2498	2478

III.4.4.1.Effet de la nature du dosage et de la longueur des fibres sur la masse volumique : L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la laitance est illustré par la figure (III.14) :

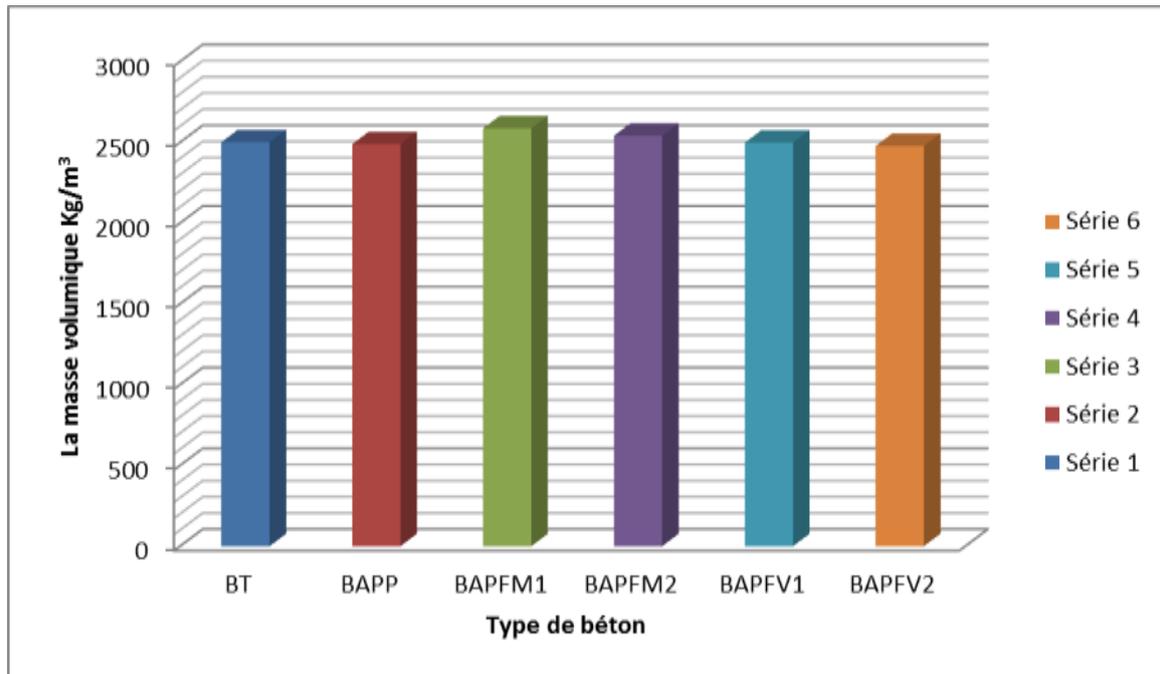


Figure.III.14. L'influence de la nature, le dosage et de la longueur des fibres sur la masse volumique

D'après les résultats présentés dans le tableau et la figure III.12, On remarque d'une part une augmentation de la masse volumique avec l'augmentation de dosage en fibres métalliques cela est dû au fait que la masse volumique des fibres métalliques a crochet d 5cm est de l'ordre 7800 kg/m^3 .

Par contre on remarque une diminution et relative avec l'augmentation du dosage en fibres (polypropylène et fibre d'alfa), cela est du fait que la masse volumique est de l'ordre (910 kg/m^3 et 890 kg/m^3).

III.2.Propriétés des bétons autoplaçant d'étude à l'état durci:

III.2.2.Procédures expérimentales

III.2.2.1.Essai de compression :

L'essai de compression a été réalisé sur des éprouvettes cubiques de dimension (10*10*10) cm, selon la norme [NF EN 12390-3] sur une presse hydraulique de capacité 2000KN à (Figure III.15) laboratoire de notre département de génie civil.

Après le démoulage, les éprouvettes sont conservées en humidités jusqu'aux échéances des essais de 28jrs, la résistance en compression obtenue est la moyenne issue de 3 éprouvettes.

La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$RC = F/S \text{ (MPA)}$$

Ou : **F** : La charge maximale de compressions (N). ; **S** : La section de l'éprouvette (mm^2)

RC : La résistance à la compression (MPA).



Figure III.15 : Dispositif expérimental pour l'essai de compression

III.2.2.2.Essai de traction par flexion

Le comportement en flexion est l'aspect le plus important pour un béton fibrés car ce type de matériau composite subit le plus souvent ce type de chargement dans ces applications. Pour chaque mélange de béton deux prismatiques de dimension (10*10*40) cm ont été utilisées pour les tests de traction par flexion trois point selon la norme [NF EN 14651 +A1] à l'aide d'une machine de capacité maximale de 100 KN après 28 jour de conservation sous l'eau (**figure III.16**)

Avant de commencer l'essai de traction par flexion, la portée moyenne de l'éprouvette doit être déterminé à partir de deux mesurages de la distance entre les axes des deux rouleaux d'appuis des deux côtés de l'éprouvette (40) cm.



Figure III.16: Dispositif expérimental pour l'essai de traction par flexion

La résistance traction par flexion trois points est calculée selon la forme suivante :

$$R_{tf} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

P : la charge maximale de rupture(KN) ; **L** : la longueur entre les appuis en (mm)

b : la largeur de l'éprouvette en (mm) ; **h** : le hauteur

R_{tf} : résistance en traction par flexion en N/mm² ou (MPA)

Et pour tracés les différentes courbes charge-déplacement » et charge ouverture de fissure (CMOD :Crack Mouth Opening Displacement).pour l'ouverture de fissure on a utilisé une loupe fraudé.



a) Ouverture de fissure

b) agrandissement de la fissure

Figure III.17.Mesure de l'ouverture de la fissure

III.2.3. Essai d'absorption d'eau par immersion totale :

Cet essai est effectué selon une méthode simple ; les éprouvettes de B.A.P sont pesées après leur passage à l'étuve à 70°C d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leur poids (soit P_s), ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau (20°C± 5°C) jusqu'à saturation du matériau, puis retirées et pesées, (soit P_h). Les valeurs sont prises par la moyenne de trois pesées par éprouvettes de chaque composition. La capacité d'absorption d'eau est donnée par la formule suivante :

$$A\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

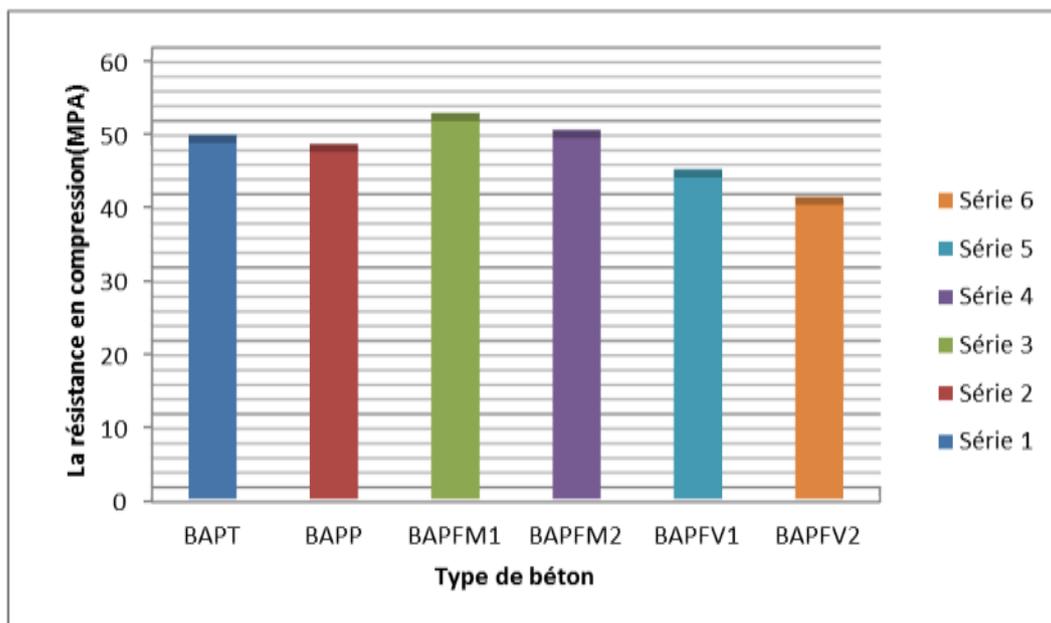
III.3.Resultats et interprétations

III.3.1.Résistance en compression

Les résultats du test de compression à 28 jrs sont présentés au tableau (III.5) et illustré par la figure III.18

Tableau III.5 Résistance en compression des différents BAP non exposé à la haute température

Jours	B.A.PT	B.A.P.FP	B.A.P.FM		B.A.P.FV	
			B.A.P.FM1	B.A.P.FM2	B.A.P.FV1	B.A.P.FV2
28	48.56 MPA	47.30 MPA	51.5 MPA	49.2 MPA	43.85 MPA	40.1 MPA



**Figures III.18 : Résistance de compression d'éprouvettes non exposé à la haute température
(Effet de la nature et dosage de fibres)**



Figures III.19. Mode de rupture et orientation des fissures de compression pour BAPT



Figures III.20. Mode de rupture et orientation des fissures de compression pour BAPP



Figures III.21. Mode de rupture et orientation des fissures de compression pour BAPM



Figures III.22. Mode de rupture et orientation des fissures de compression pour BAP.FV

D'après les résultats on constate que l'évolution à la résistance en compression à 28 jrs se diffère d'un béton à l'autre selon la nature, le dosage et la longueur en fibres. On remarque que l'incorporation des fibres polypropylène et les fibres végétale (Alfa) pour le pourcentage 1% et 0.6% engendre une faible chute de résistance par rapport aux BAPT cela peut s'expliquer par le fait que l'hydratation n'est pas suffisamment développée à cause de la présence de la cellulose dans les fibres végétales. Par contre on remarque une légère augmentation de la résistance avec l'introduction des fibres métalliques à crochet de 5cm.

III.3.2.L'influence de la haute température sur les bétons autoplacant fibrés (effet de la nature de fibres) :

➤ Procédure expérimentale :

Les formulations des bétons étudiés ont été confectionnées en éprouvettes cubiques (10×10×10) cm, trois éprouvettes pour chaque mélange.

Nous suivons les démarches suivantes :

- Les éprouvettes ont été conservées à l'eau pendant 28 jours à une température ambiante de 20°C
- Passage de toutes les éprouvettes à l'étuve jusqu'à la stabilisation de leur masse à une température de 100±5°C.
- Exposition des éprouvettes à des températures élevées de 600°C avec une vitesse de montée en température de 10°C/min avec un palier de maintien en température maximale dans le four à moufle de 3 heure.
- Le procédé expérimental appliqué repose sur un chargement thermique puis mécanique (l'écrasement)

On a fait l'essai au niveau du département de métallurgie de l'université de BADJI-MOKHTAR-ANNABA à laboratoire de fonderie

Le four utilisée HK série Linn High Thermique à chambre, résistance électrique programmable de température MAX 1300 C° (2372F). Capacité de (31 à 600) Litre.

Voici quelque photo d'exposée les différents éprouvette à haute température.

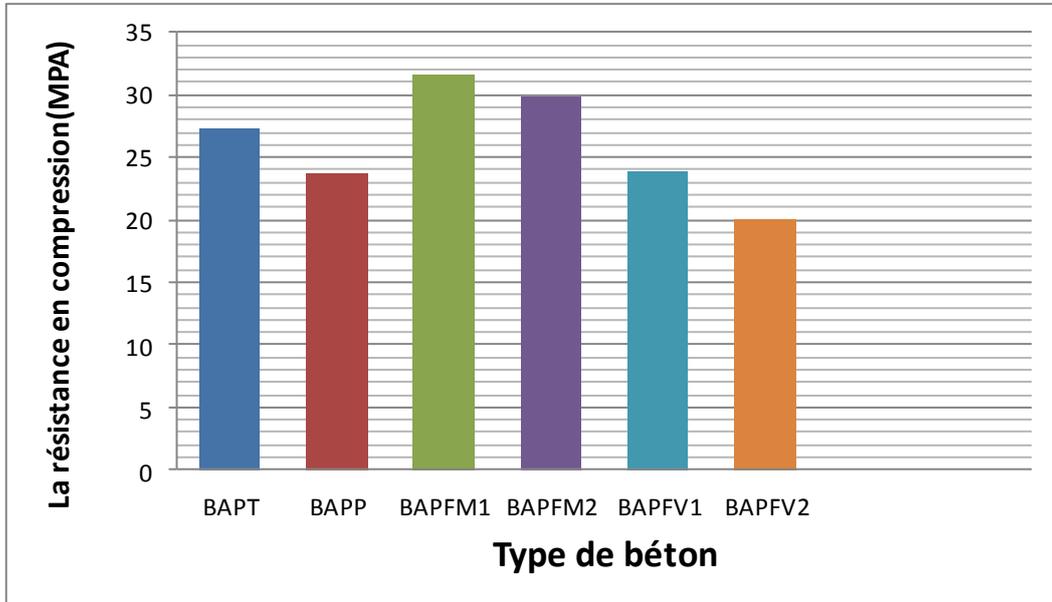


Figures III.23 : Essai du comportement des BAP soumis à hautes températures.

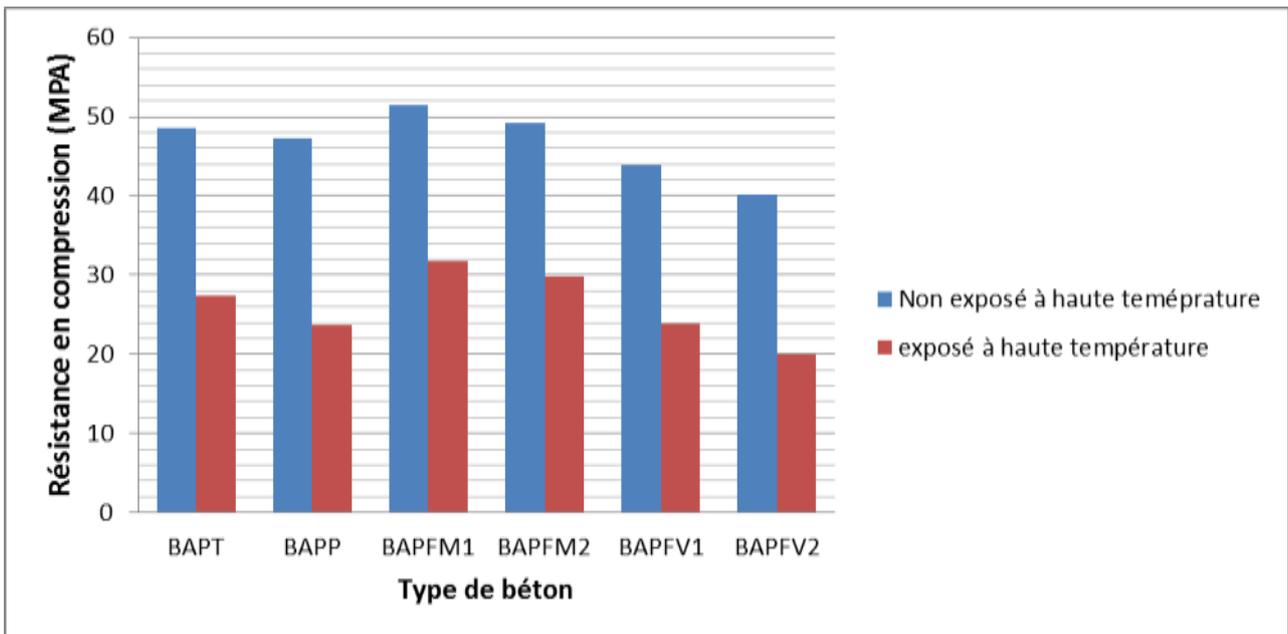
Les résultats du test de compression à 28 jrs des BAP soumis à hautes températures (600°C) pendant 3h sont présentés au tableau (III.6) et illustré par la figure III.24

Tableau III.6 Résistance en compression des différents BAP exposé à la haute température

Jours	BT	B.A.P.P	B.A.P.M		B.A.P.V	
			B.A.P.M1	B.A.P.M2	B.A.P.V1	B.A.P.V2
28	27.36 MPA	23.67 MPA	31.68 MPA	29.84 MPA	23.82 MPA	19.94 MPA



Figures III.24 : Résultats de l'essai de compression d'éprouvettes exposé à la haute température (600°)



Figures III.25: Comparaison des Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes non exposé et exposé à la haute température (600°)



Figures III.26.Essai de compression pour BAPT exposé à haute température (600C°)



Figures III.27.Essai de compression pour BAPP exposé à haute température (600C°)



Figures III.28.Essai de compression pour BAPM exposé à haute température (600C°)



Figures III.29. Essai de compression pour BAPV exposé à haute température (600°C)

D'après les résultats présentés au tableau III.6 et la figure III.25, on remarque :

➤ **Pour les BAPT**

Les causes de ces détériorations sont la déshydratation et la décomposition des composés principaux de la matrice : décomposition du portlandite (Ca(OH)_2) à une température d'environ 500°C et le calcaire (CaCO_3) à une température d'environ 600°C.

Un autre paramètre dont l'effet sur la détérioration est très important, c'est la réaction de la chaux libre CaO (produite suite à la décomposition de la portlandite et le calcaire lors de l'échauffement) avec l'humidité lors et après refroidissement, ce qui forme le (Ca(OH)_2) qui s'accompagne d'une augmentation de volume.



Figure III.30. Fissuration dans les BAPT

➤ **Pour les BAP.FP :**

On remarque une diminution en résistance à la compression de les BAP avec des fibres polypropylène exposé à haute la température par rapport au BAP en fibre polypropylène non exposé à la haute température à l'ordre de 50.04%. on explique cette diminution de la résistance à la compression que les fibres polypropylène fondent a environ de 170°C et avec l'augmentation de température jusqu'à 600°C les fibres

va se vaporiser au on avoir une augmentation de la taille de pores et leur connectivité ce qui amplifie la dégradation de la microstructure des bétons.

➤ **Pour les BAPFM**

D'après la figure. **III.25** On remarque aussi une diminution très élevée en résistance à la compression pour les BAP des fibres métalliques exposé à la haute température $600C^{\circ}$ par rapport au BAP en fibre métalliques on exposée à la haute température à l'ordre de 61.51 %. On explique cette diminution de la résistance à la compression c'est la dilatation thermique différentielle importante entre la pâte de ciment (retrait) d'une part, et les fibres métalliques d'autre part (grande dilatation). Et par un coefficient de transfert de chaleur très élevé de fibres métalliques par rapport à celui du béton. Ce qui peut laisser les fibres se dilater plus librement lors de l'échauffement au on avoir une grande augmentation de la microfissuration et de la porosité qui explique la diminution de la résistance à la compression pour les BAPFM.



Figure III.31.Fissuration dans les BAPFM

➤ **Pour les BAPFV**

On remarque aussi que Les BAP fibrés avec des fibres végétales à une chute de résistance après l'exposé à la haute température $600C^{\circ}$ pendant 3h par rapport au BAP en fibre végétale non exposé à l'ordre de 49%. Alors on explique cette chute de résistance presque le même principe pour les fibres polypropylènes que les fibres d'Alfa avec ne résiste pas à haute température au ils vont se vaporiser a certain température. Et ce

que contiennent les fibres de la taille et de la longueur dans le béton au nous obtenons une grande augmentation de la porosité qui explique la diminution de la résistance à la compression pour les BAP.FV.

III.3.3. Mode de rupture en compression :

Quelle que soit l'orientation des fibres, des fissures formées parallèlement à la force appliquée se sont développées et ont provoqué la rupture des granulats et de la matrice.

D'après les figures ci-dessus, on remarque pour les éprouvettes mis en essai de compression que les fibres orientées perpendiculairement à la direction de la sollicitation ont tendances à mieux résister aux microfissures que les fibres orientées parallèlement aux sens de chargement.

Nous avons également remarqué que, contrairement aux éprouvettes BAPT, la rupture des éprouvettes fibrés n'était pas brutale mais retenue par les fibres.

III.4 Résistance et comportement des BAP fibré en traction par flexion :

Les résultats du test de traction par flexion sont présentés au tableau III.7

Tableau III.7. Résultat d'essai de traction par flexion

Age (Jours)	BAP.T	BAP.FP	BAP.FM		BAP.FV	
			BAP.FM1	BAP.FM2	BAP.FV1	BAP.FV2
28	4.95 MPa	7MPa	9 MPa	6.75 MPa	5.4 MPa	4.5 MPa

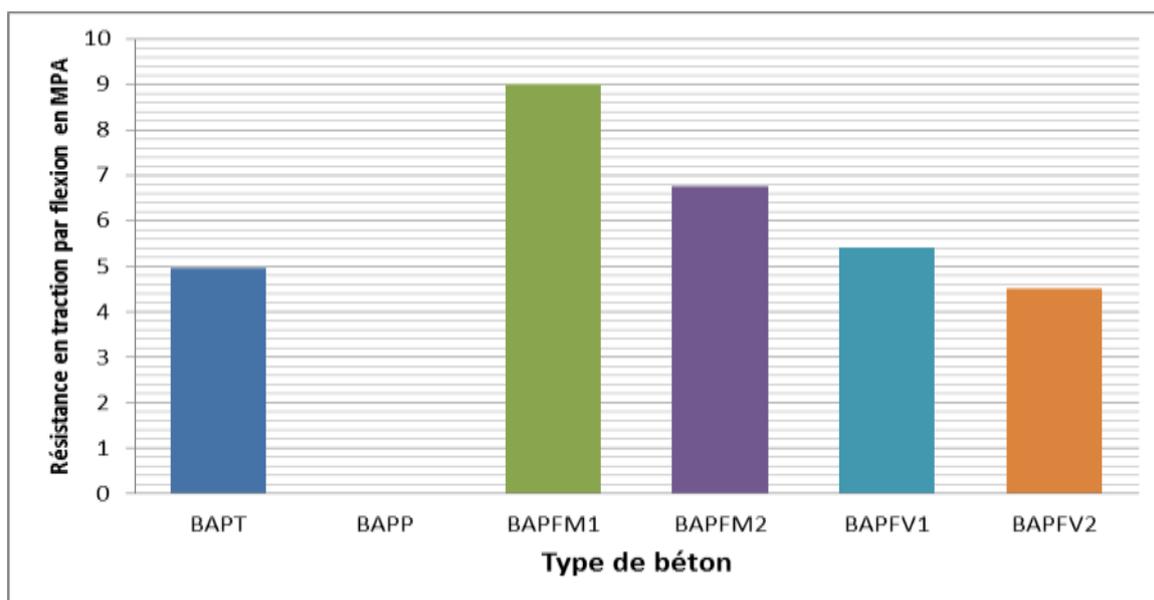


Figure III.32. Résultats de l'essai de traction par flexion à 28 jrs

D'après la Figure III.32, il est clair que l'addition des fibres métalliques à la composition du béton autoplaçant conduit à une augmentation importante de la résistance en traction par flexion. Le gain de résistance de traction par flexion pour les BAPFM1 par rapport au BAPT est de l'ordre de 81.81% pour les BAPFM2 et de l'ordre de 36.36%. Cette augmentation est nettement influencée par la nature, le dosage et la longueur des fibres utilisées. Pour les fibres végétales on observe une faible augmentation de la résistance en traction par flexion de BAP.FV2 par rapport au BAPT et de l'ordre de 9.09%.

III.4.1 L'influence de la nature, du dosage et de la longueur des fibres à la traction par flexion :

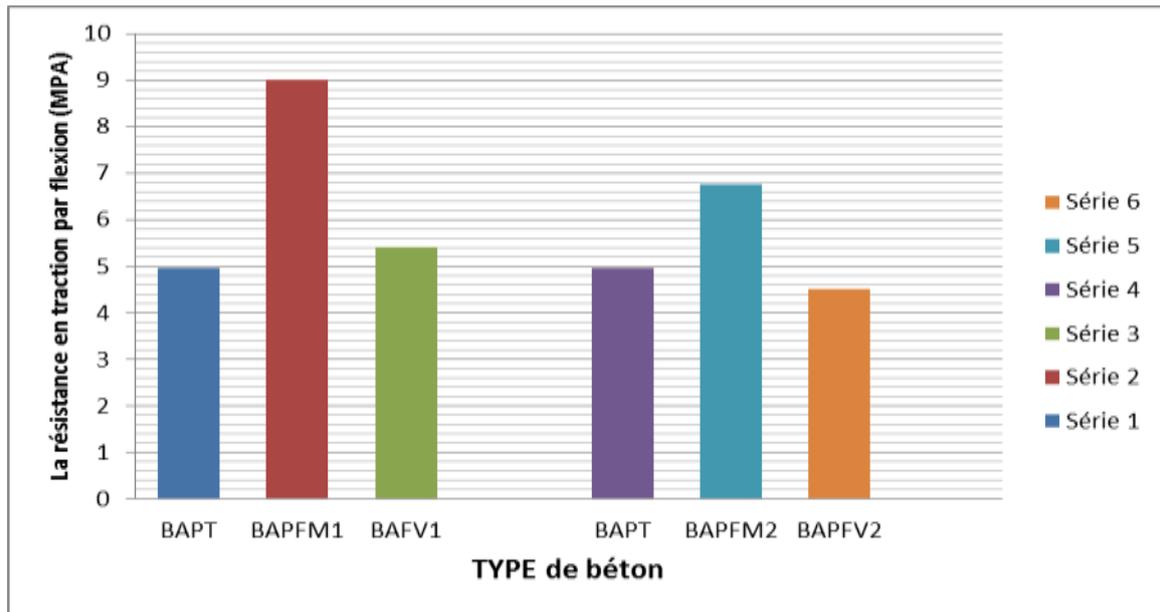


Figure III.33. L'influence de la nature, du dosage et de la longueur des fibres à la traction par flexion à 28 jrs

D'après les résultats présentés au niveau de la Figure III.33. On observe que l'augmentation de la résistance en traction par flexion se différencie selon la nature, le dosage et la longueur des fibres utilisés. Il est évident que les fibres métalliques donnent une meilleure résistance en traction par flexion à cause de la géométrie des fibres métalliques qui assure une meilleure adhérence dans l'interface fibres-matrice et cette résistance en traction qui est de l'ordre de 1000MPa par fil et qui permet de mieux résister au développement de microfissures dès qu'elles sont ouvertes.

Pour les fibres végétales on remarque que les fibres de 5cm de longueur donnent une meilleure résistance en traction par flexion par rapport aux fibres de 2.5 cm. Cela est dû principalement à l'élanement élevé des fibres de 5 cm qui assure une meilleure adhérence dans l'interface fibre-matrice et qui permet de se comporter mieux au développement de microfissures dès qu'elles sont ouvertes.

III.4.2.Comportement en flexion

- **Comportement du béton autoplaçant en traction par flexion :** il est composé essentiellement en trois phases :
 - **La première phase :** est une zone élastique linéaire jusqu'à la charge de pic (maximale)
 - **La deuxième phase :** est une zone plastique ou on n'a pas pu observer le développement de cette phase par ce qu'on ne dispose pas des moyennes nécessaires
 - **La troisième phase :** correspond au développement de la fissure entraînant la chute de la charge et la séparation de l'éprouvette des moyens nécessaires.
- **Comportement des bétons autoplaçant renforcé avec fibres métalliques en traction par flexion :**

Les B.A.P fibré présentent un domaine linéaire élastique suivi d'un domaine non linéaire qui se termine par un palier de ductilité. L'incorporation des fibres dans les bétons autoplaçant influence directement le comportement en flexion dont le nombre de phase augmente à trois :

- **La première phase :** cette phase présente un domaine quasi-élastique qui correspond à l'état non fissuré du matériau. Cette phase correspond à l'apparition de microfissures dans le béton, durant laquelle les fibres s'opposent à ces microfissures retard leur localisation et diffusion, ce qui explique l'amélioration de la résistance en traction par flexion
- **La deuxième phase :** correspond à la localisation des microfissures verticales. Les microfissures deviennent des microfissures ce qui explique la diminution de la capacité portante résiduelle jusqu'à une ouverture de fissures suffisante pour une sollicitation optimale des fibres.

Les fibres longues sont les mieux sollicitées ce qui explique le meilleur comportement en flexion. A cette phase, l'orientation et le mécanisme d'ancrage des fibres sont primordiaux.

- **La troisième phase :** correspond à la diminution progressive de la résistance résiduelle cela est due à la perte progressive d'adhérence entre la fibre et la matrice cimentaire qui résulte d'un déchaussement des fibres survient par l'attachement de ces dernières. Dans la géométrie joue un rôle essentiel dans l'amélioration qui résulte l'augmentation de la résistance post-pic.

Pour la deuxième et la troisième phase en remarque qu'il y a une différence entre le comportement des B.A.PFM et des B.A.PFV bien sûr les fibres métalliques en un meilleur comportement en flexion.

III.4.3.Courbe charge-flèche :

III.4.3.1.Pour fibres métalliques :

Les courbes charge-flèche et charge-ouverture de fissures (CMOD) pour les différents types de béton sont représentées au niveau des figures III (34-35-37-38)

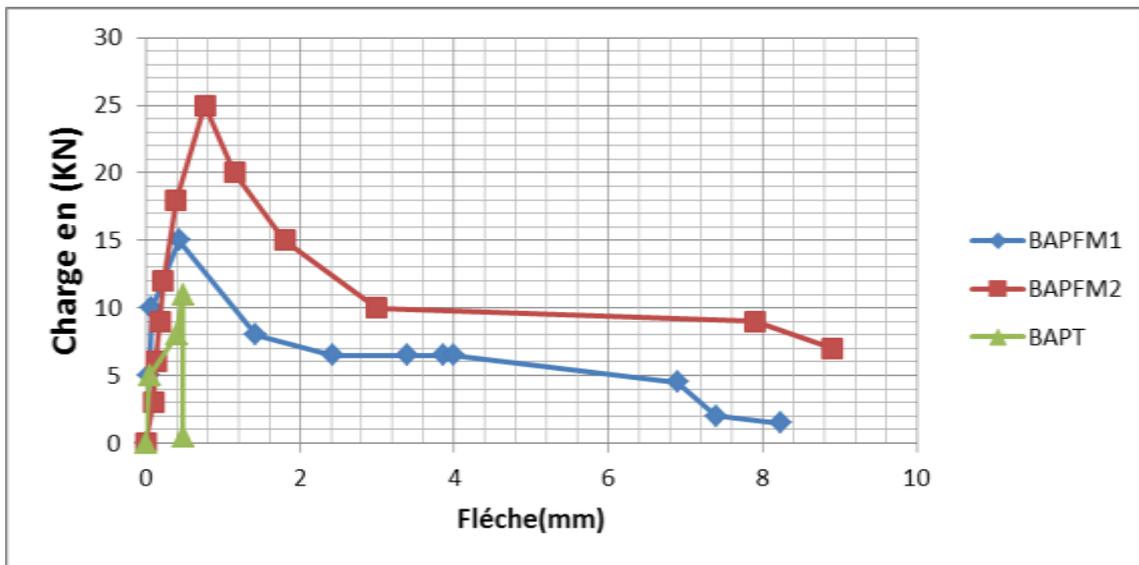


Figure III.34: Courbe charge-flèche du BAPT et BAFM

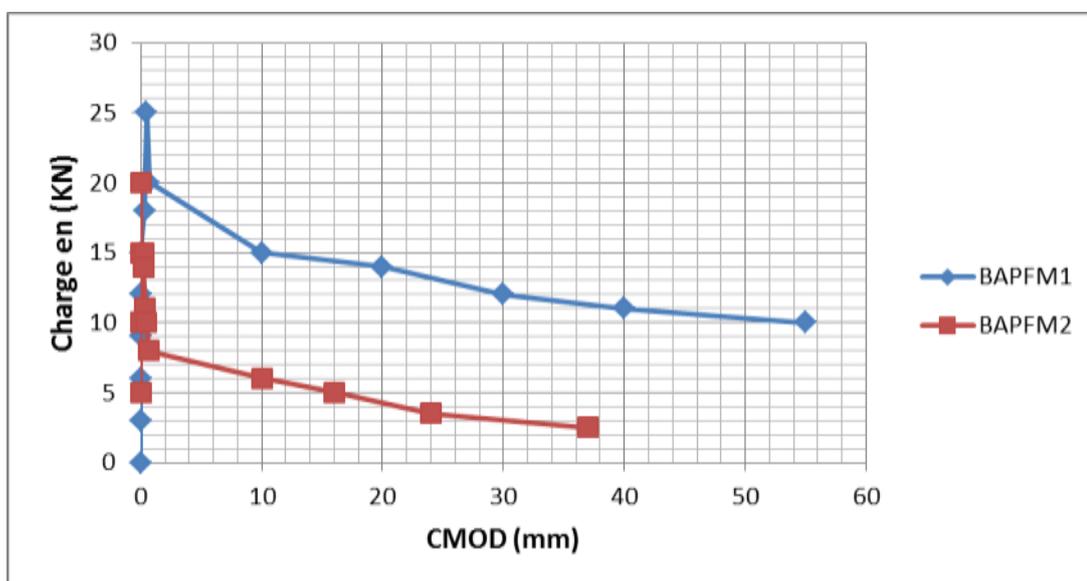


Figure III.35 : Courbe Charge-Ouverture de fissures (CMOD) de BAPFM

Les figures III 34-35 présentent les courbes Charge-Flèche et Charge-Ouverture de fissure. Les courbes comportent une première phase, élastique linéaire jusqu'à l'atteinte de l'effort maximal correspondant à l'apparition de la première fissure. Cette charge maximale est en fonction du pourcentage de fibres.

Ces courbes illustrent bien l'amélioration de la ductilité des BAPFM ainsi que le rôle très important joué par l'incorporation des fibres métalliques dans le processus de fissuration qui retarde l'apparition des fissures et s'oppose au développement de ces fissures par rapport au BAPT dont on constate une rupture brutale avec deux phases élastique et ruine.

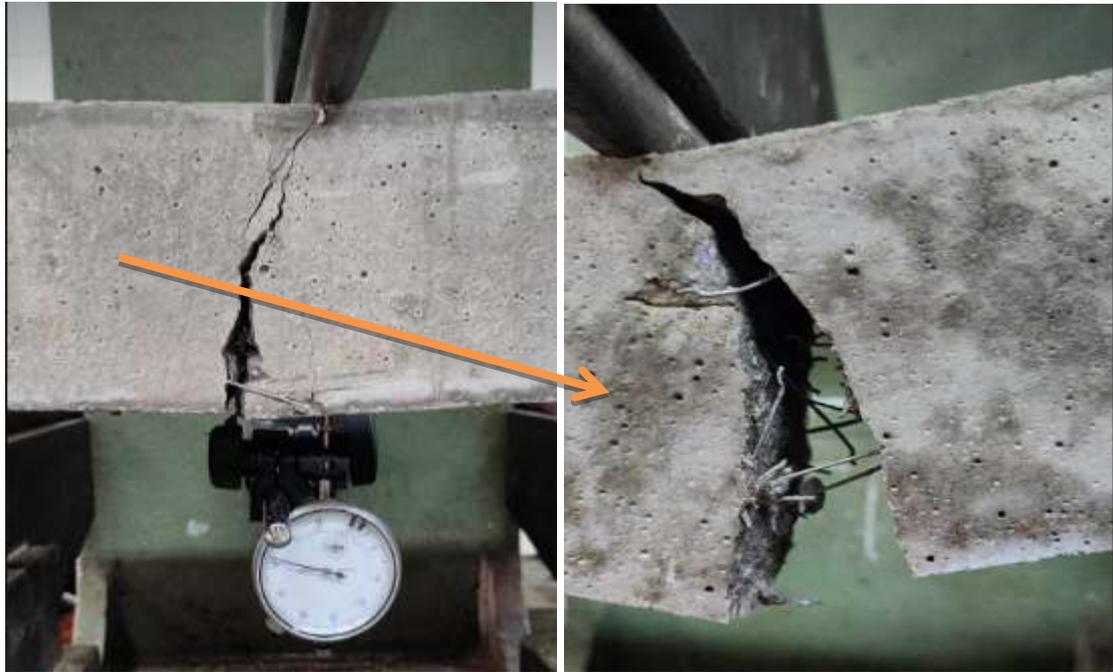


Figure III.36 : Comportement ductile des BAPFM

III.4.3.2. Pour fibres végétales:

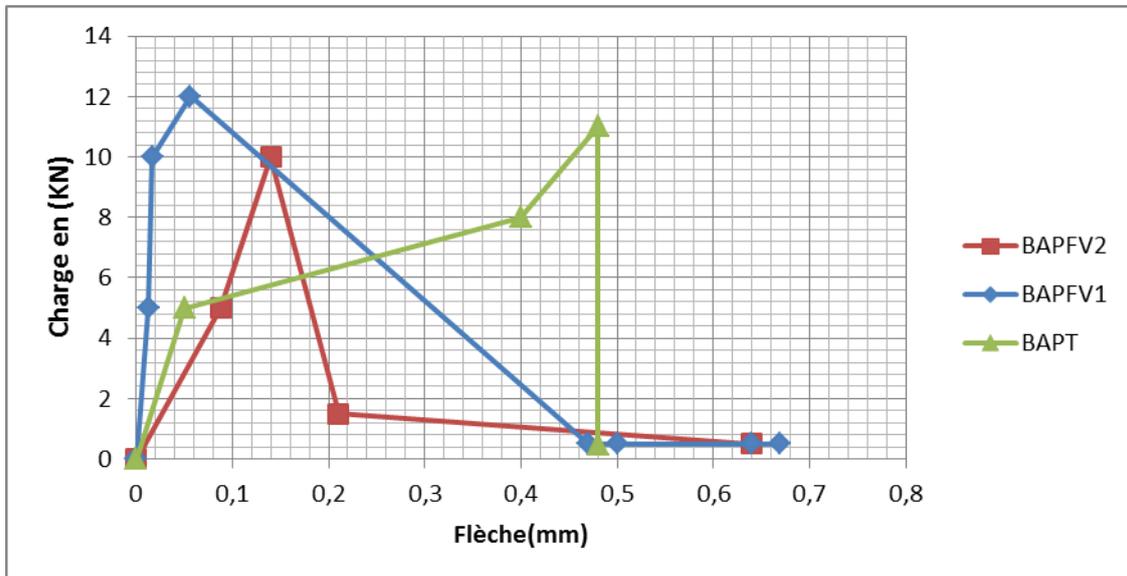


Figure III.37 : Courbe charge-flèche des BAPFV

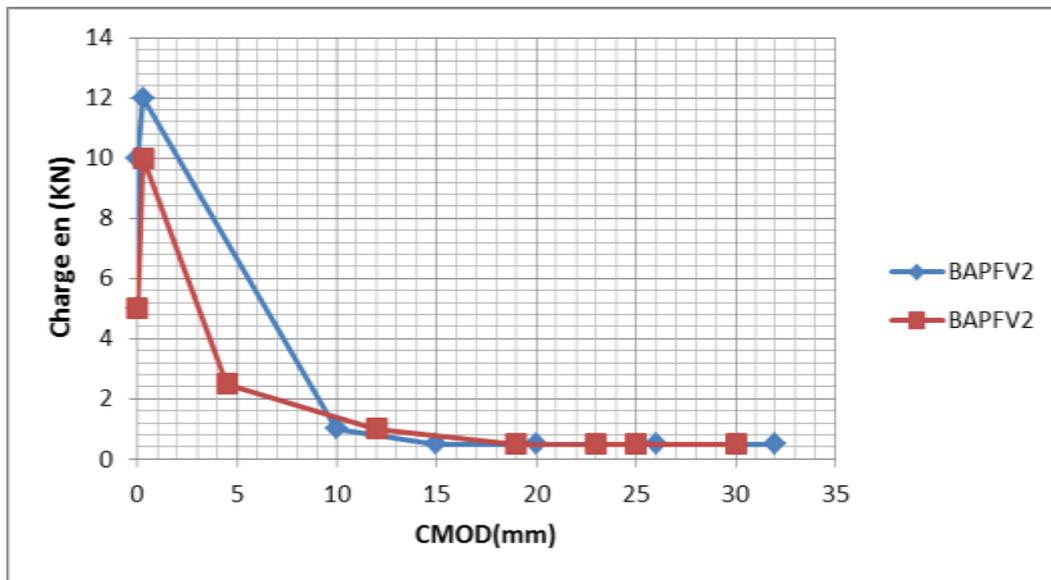


Figure III.38: Courbe charge-Ouvertures de fissure (CMOD) des BAPFV

D'après les Figure III 37-38. On remarque pour les courbes charges-flèche et charge-ouvertures des fissures pour les BAPFV. Que l'apport des fibres végétales est moins important que celui des fibres métalliques. On constate une amélioration du comportement avec l'augmentation du dosage en fibres

On voit ci-dessus quelque photo pour le comportement de BAPV :



Figure III.39: Comportement ductile des BAP.FV

III.4.3.3. Comparaison entre les courbes charge-flèche, charge –ouverture de fissures (CMOD) pour les BAPT, BAPFM et BAPFV

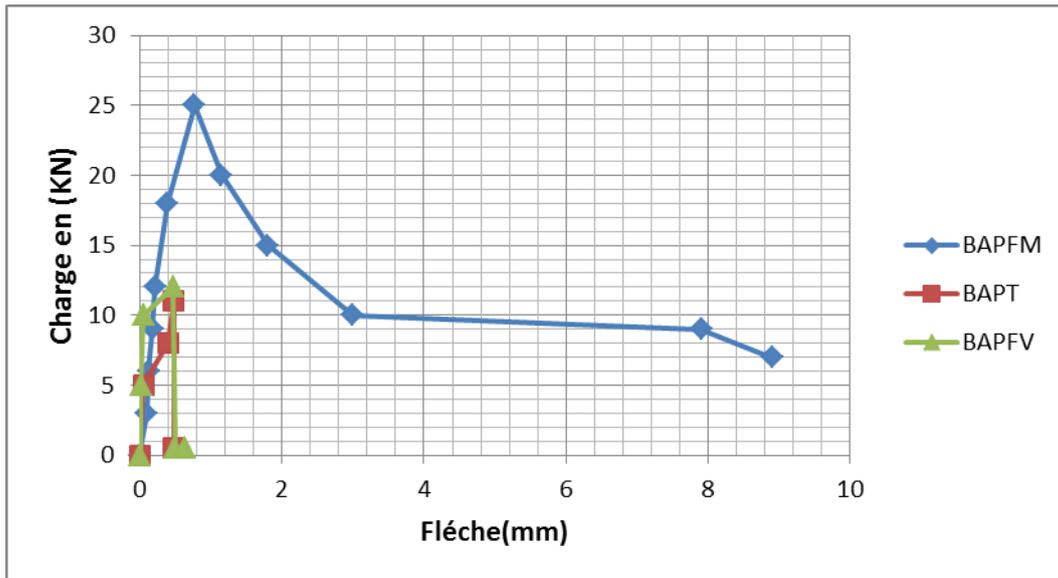


Figure III.40: Courbe charge-flèche Du BAPT, BAPFM et BAPFV

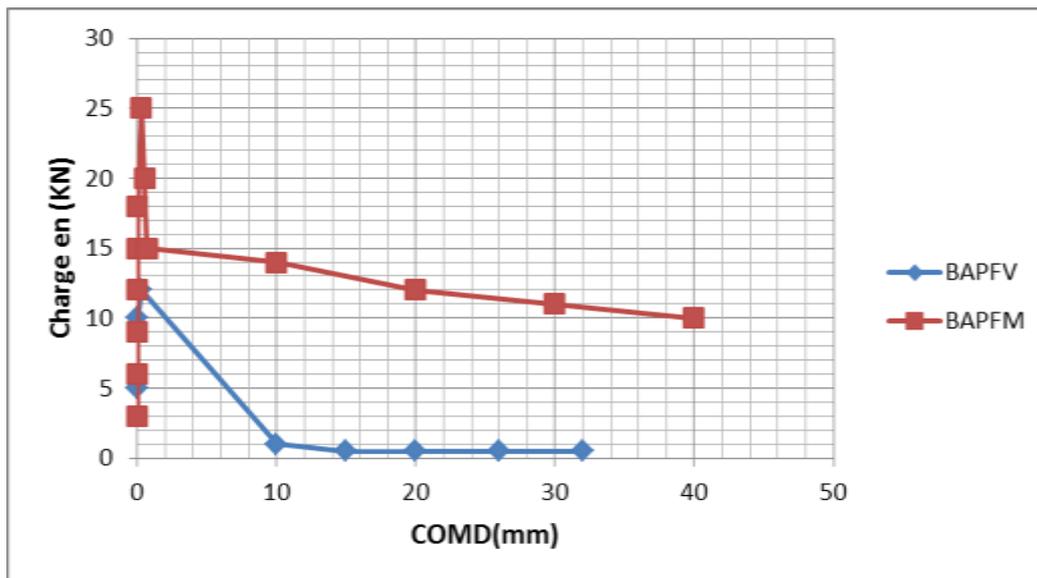


Figure III.41 : Courbe charge-Ouverture de fissure Du BAPFM et BAPFV

D'après les **Figure III.40**, Présente les courbes charge-flèche pour les BAPT, BAPFM et BAPFV. On constate que les BAP avec fibres métalliques ont un comportement plus meilleur en terme de la ductilité et de déformation par rapport au BAPFV. Cela est dû aux caractéristiques mécaniques et géométriques des fibres métalliques qui leur offrent un système d'accrochage plus performant et donc assure une bonne adhérence fibre-matrice cimentaire.

D'après la **Figure III.41**. Présente les courbe charge-ouverture de fissures que les bétons autoplaçant avec des fibres métalliques joue un rôle très important dans le processus de fissuration qui retard l'apparition des fissures par rapport au BAPFV.

III.6. Mode de rupture en flexion :

Sur les figures **III.42-43-44**. Ont voire le mode de rupture des éprouvettes prismatiques à 28 jours pour l'essai de traction par flexion :



Figure III.42: Mode de rupture en flexion des BAPT (témoin)



Figure III.43. Mode de rupture en flexion des BAPFM





Figure III.44: Mode de rupture en flexion des BAPFV

Le mode de rupture et l'état de fissuration à la rupture sont très différents entre le BAPT (témoin) et le BAP fibrés. Pour les BAPT l'éprouvette prismatique de 10*10*40 se rompt avec une fissure début au niveau central de l'éprouvette. Cette dernière se divisant en deux parties .on conclut que la rupture se passe au niveau des granulats et la matrice cimentaire en même temps.

Pour les BAP fibrés, la rupture n'est plus brutale, le béton devient plus ductile donc moins fragile. Sous l'effet d'une redistribution de contrainte de traction dans la zone inférieure tendue, la fissure principale est accompagnée par d'autres petites fissures secondaires indépendantes des fissures principales. Il reste que l'orientation, la longueur et la forme géométrique de la fibre sont les paramètres les plus importants pour un meilleur transfert de charge vers les fibres on prend l'exemple des fibres métalliques qui assure une très bonne adhérence fibres-matrice cimentaire par rapport au fibrés végétale au on a une mauvaise adhérence à cause de leurs surface lisse et leurs géométrique.

III.7. Essai d'absorption d'eau par immersion totale

Les résultats obtenus sur l'absorption d'eau par immersion totale sont présentés par le tableau suivant :

Tableau III.8: Résultat d'essai d'absorption d'eau par immersion totale

Type de béton	B.A.PT	B.A.P.P	B.A.P.M1	B.A.P.V1
A% non exposé à haute température	3.8	4.56	2.24	3
A% non exposé à haute température	8.84	9.65	8.36	9.11

III.7.1 L'influence de la haute température sur absorption d'eau par immersion totale : l'effet de la haute température sur l'augmentation de la température caractérisé par le taux de l'absorption est illustré par la figure III.45

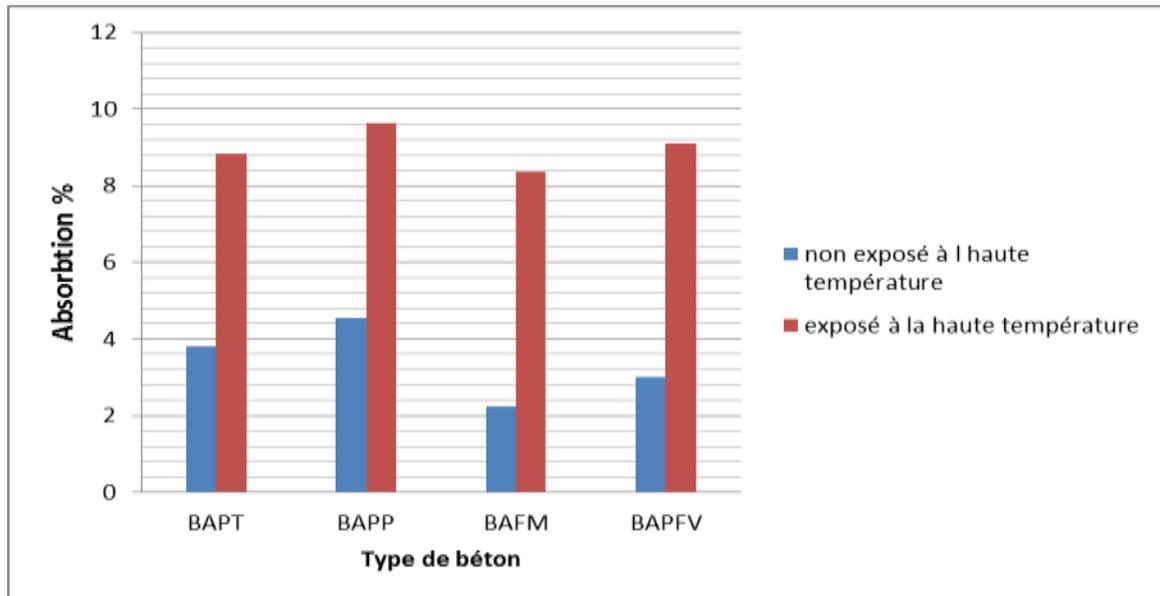


Figure III.45 : L'influence de la haute température sur absorption d'eau par immersion totale

D'après les résultats obtenus et présentés sur la figure III.45, la capacité d'absorption d'eau par immersion totale montrent que les (BAPT.BAPP.BAPFM.BAPFV) non exposé à la haute température est de l'ordre (3.8-4.56-2.24-3) et les (BAPT.BAPP.BAPFM.BAPFV) température (600C°), on remarque une augmentation très élevée pour tous les types de BAP de l'ordre de (57.08-52.74-73.20-67.06)%. on explique cette augmentation par l'effet de la haute température sur les BAP non fibrés et fibrés avec l'augmentation des microfissures et les tailles des pores qui est dû à la combustion de ces fibres au on a voir un béton très poreux.

Conclusion

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus du programme d'essais, l'analyse et l'interprétation de ces derniers pour les BAP et de BAP fibrés (fibre polypropylène, métalliques et végétale) plusieurs facteur ont été détaillé l'influence de la nature et dosage des fibres à l'état frais (essais d'étalement au cône, de la boîte en L et de stabilité au tamis et masse volumique).et d'étudié le comportement des BAP à l'état durci (résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion) et de voir l'influence de la haute température 600C° sur la résistance à la compression des différents BAP.

Avec petite étude sur l'absorption d'eau par immersion totale d'éprouvettes exposé et non exposé a la haute température.

Les conclusions suivant peuvent être tirés :

- **A l'état frais :**

- Pour l'Etat frais on a s'intéresse à l'étalement du béton autoplaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) on utilisant la boîte en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis.
- Cette étude caractérise l'influence de la nature, le dosage et la longueur des fibres sur les propriétés des bétons autoplaçant sur l'ouvrabilité la mobilité et à la ségrégation.
- L'ajout des fibres métalliques et végétales confère au B.A.P à l'état frais une cohésion ce qui affecte l'ouvrabilité avec une diminution de l'étalement au cône.
- On remarque qu'on ne peut pas utiliser les fibres métalliques de 5 cm dans tous les ouvrages à cause de blocage (essai de boîte en L)
- La masse volumique de B.A.P augmente avec l'ajout des fibres métalliques.

- **A l'état durci**

- **Sur la résistance en compression :**

- La résistance en compression augmente légèrement avec l'introduction des fibres métalliques
- Les fibres métalliques de forme crochet de ont un bon mécanisme d'accrochage et adhérence par rapport aux fibres polypropylènes et végétales qui permet d'avoir une résistance en compression relativement élevée.
- Les BAP fibrés sont soumis à une chute très élevé en compression lors de l'exposition à haute température.

- **Sur la résistance en traction par flexion :**

- La résistance en traction augmente avec l'introduction des fibres métalliques et végétales, le comportement post-fissuration est significativement amélioré.
- Pour un bon mécanisme d'accrochage et adhérence on utilise les fibres métalliques que les fibres végétales pour assurer une bonne résistance aux microfissures lors de l'essai de traction par flexion.
- Les fibres de 5cm permettent d'avoir une bonne résistance en traction par flexion par rapport aux fibres de 2.5cm.
- l'introduction des fibres métalliques permet d'avoir un comportement plus ductile que les fibres végétales ou BAP non fibré.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude était d'apporter de manière expérimentale des éclaircissements et d'approfondir la connaissance sur l'effet de l'incorporation des fibres de différentes natures (fibre polypropylène, métalliques et végétale) sur la rhéologie, le comportement mécanique ainsi que de détecter l'influence de la température élevée sur la détérioration des bétons autoplaçants fibrés.

Et nous allons décrire le comportement mécanique des B.A.P fibrés à travers la caractérisation et l'analyse des tests de la résistance en compression, la traction par flexion et ainsi d'étudier l'influence de la température (600°) sur les B.A.P fibrés.

Plusieurs enseignements et conclusions sont tirés de cette étude :

- **A l'état frais :**

L'ajout des fibres métalliques confère au BAP à l'état frais une cohésion du mélange ce qui engendre une amélioration de la densité et par conséquent de la compacité en revanche il conduit à une diminution de l'écoulement du béton à l'état frais.

- Pour l'Etat frais on s'intéresse à l'étalement du béton autoplaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) on utilisant la boîte en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis.
- Cette étude caractérise l'influence de la nature, le dosage et la longueur des fibres sur les propriétés des bétons autoplaçant sur l'ouvrabilité, la mobilité et à la ségrégation.
- L'ajout des fibres métalliques et végétales confère au B.A.P à l'état frais une cohésion ce qui affecte l'ouvrabilité avec une diminution de l'étalement au cône.
 - Les fibres, quel que soit leur nature, affectent énormément l'écoulement dans un milieu confiné (blocage)
 - La masse volumique de B.A.P augmente avec l'ajout des fibres métalliques et diminue avec les fibres végétales ou de polypropylènes

- **A l'état durci**

- **Sur la résistance mécanique :**

- ✓ Les résistances mécaniques en compression des différents BAP d'étude sont légèrement affectées par l'incorporation de fibres. La résistance à la compression des BAP avec fibres métalliques est supérieure

à celle des BAP témoin par contre l'ajout de fibres végétale ou de polypropylènes diminue légèrement la résistance en compression.

- ✓ La résistance à la traction par flexion BAP fibrés sont nettement supérieures à celles d'un BAP sans fibres en particulier avec les fibres métalliques. Cela se traduit par l'amélioration de la ductilité dans le comportement du composite et a apporté une augmentation de la résistance et de déformations à la rupture et donc améliore de façon importante la ductilité du matériau, et améliore aussi son seuil de fissuration.
- ✓ Les fibres métalliques de forme crochet de ont un bon mécanisme d'accrochage et adhérence par rapport aux fibres polypropylènes et végétales ce qui permet d'avoir une résistance en compression relativement élevée.
- ✓ La résistance en traction augmente avec l'introduction des fibres métalliques et végétales, le comportement post-fissuration est significativement amélioré.
- ✓ Pour un bon mécanisme d'accrochage et adhérence on utilise les fibres métalliques que les fibres végétales pour assurer une bonne résistance aux microfissures lors de l'essai de traction par flexion.
- ✓ Les fibres de 5cm permettent d'avoir une bonne résistance en traction par flexion par rapport aux fibres de 2.5cm.
- ✓ Les courbes charge-déplacement et charge-CMOD illustrent une différence entre un comportement fragile d'un BAP témoin et un comportement ductile d'un BAP en fibré. cette ductilité varie selon la nature, dosage et longueur des fibres utilisées

- **Sur le comportement des BAP fibrés soumis à la température élevée**

- ✓ On remarque des fissures visuel pour es BAP en fibres métalliques mais moins avec les fibres végétales et sans fissures pour les BAP avec fibres polypropylène.
- ✓ les fibres métalliques engendre une dilatation lors l'exposition à la haute température ce qui provoque la fissuration.
- ✓ L'exposition des BAP fibrés aux températures élevées provoque une chute significative de la résistance en compression.
- ✓ L'exposition des BAP fibrés aux températures élevées engendre une augmentation considérable de la porosité accessible à l'eau exprimée par l'absorption totale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DJEBRI, Nora, RAHMOUNI, Zine Elabidine, et BELAGRAA, Larbi. Experimental Investigatio[n on the Effect of Marble powder on the performance of Selt-Compacting Concrete (SCC). Mining Science, 2017, vol. 24.
- [2] DJEBRI, Noura. L'EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON IN SITU. 2006. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [3] FAYZA, GHARBI et MALIKA, FALI. Evaluation de la qualité des bétons auto-plaçant (BAP) exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (END) et essais direct. 2019. Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- [4] Rossi P harrouche "comportement mécanique de Béton fibré Annales de l'itbtp series 73 n°479 PP 166-183 DECEMBRE 1989.
- [5] Pierre.R, Les bétons de fibres métalliques, presses Ponts et Chaussées
- [6] Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance, Touhami TAHENNI ; USTHB, Algerie - Magister en Génie Civil 2006, Désigner sur:
- [7] : [Shah1991], [Banthia et Trottier 1994], [Li et al 1998] et [Deng et Li 2007]. Rossi P
- [8] [Dhonde et al 2005]
- [9] Yahiaoui Lamia, « caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales Diss », mémoire magister, option mécanique applique, université de Sétif, 2011.
- [10] NF ISO 14577-4 "Metallic materials instrumented indentation test for harness and other materials parameters", part 1, Test method for metallic and nonmetallic coating, pdf, 200
- [11] NF ISO 14577-3 "Metallic materials instrumented indentation test for harness and other materials parameters", part 3, Calibration of reference test pieces, pdf, 2003
- [12] M.T.Laugier, "New formula for indentation in ceramics", J. Mater. Sci. Letts., 6, p.355, 1987
- [13] Burak Felekogç, Selcuk Turkel, Bulent Baradan, —Effect of water/cement
- [14] Grünewald et Walravens
- [15] MEDDAHI NACIRA et al «COMPORTEMENTS DES BETONS RENFORCÉS PAR DES FIBRESMETALLIQUES, MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE» Université Bouira2015.

- [16] 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
- [17] 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.
- [18] 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
- [19] Alcantara M., (2004) Béton auto-plaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC.
- [20] 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.
- [21]
- [22] Khanzadi, M. et Behnood, A. (2009). Mechanical properties of high-strength concrete incorporating copper slag as coarse aggregate. Construction and Building Materials, volume 23
- [23] Chen B., Liu J., Residual strength of hybrid-fiber-reinforced highstrength concrete after exposure to high temperatures, Cement and Concrete Research, Vol. 34,
- [24] Suhaendi, S.L., Horiguchi, T., Effect of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fiber reinforced high strength concrete after heat exposition, Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp. 1672-1678.