

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DEBOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Département de Génie des Procédés

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master  
Spécialité : Génie Civil  
Option : Matériaux de Génie Civil

## THEME

Formulation et caractérisation expérimentale  
d'un béton autoplaçant fibré à base d'ajouts  
cimentaires locaux

**Réalisé Par**

FERDJALI Amine

SOUFI Menouer

**Sujet Proposé et suivi par**

Pr. GHERNOUTI Youcef

Mme. GUECIOUER Djamila

**Devant le jury :**

Boumerdes 2017 – 2018



## REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier d'abord dieu le tout puissant qui nous a accordé santé et courage pour achever ce travail.*

*Nous tenons en premier lieu, à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Pr. GHERNOUTI Y, qui a bien voulu nous encadrer pour l'élaboration et le suivi théorique et pratique de notre projet de fin d'étude.*

*Nous tenons à remercier sincèrement Mr le directeur de « Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction »*

*(LNHC)*

*Pur nous avoir accepté d'effectuer le stage pratique, et pour la confiance qu'il nous a témoigné.*

*Il nous est particulièrement agréable de témoigner notre reconnaissance à notre encadreur Mme .GUECIOUER, pour son suivi pratique et ses conseils instructifs et précieux,*

*Nous remercions le chef de département Mr .AKSAS Pour sa disponibilité à tous les moments difficiles.*

*Nous tenons à exprimer aussi notre vive reconnaissance aux enseignants de département de génie des matériaux qui ont contribué à notre formation.*

*Enfin, que toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs concours à l'élaboration de travail, trouvant ici l'expression de notre profonde sympathie.*

## ***Dédicaces***

*Je tiens à dédier ce modeste mémoire à mes très chers parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie, à mon frère : Kamel et ma sœur : Lina et à toute la famille Ferdjali grands et petits.*

*A tous mes amis ...*

*Toute la promotion MMGC16*

*Un grand merci à tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de cet ouvrage à leur tête les fonctionnaires de LNHC unité Oued Semar spécialement mohamed. Hilal et surtout mustapha driss.*

*Amine.*

## ***Dédicaces***

*Je tiens à dédier ce modeste mémoire à mes très chers  
parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie à  
mes frères et mes sœurs  
et à toute la famille soufi grands et petits.*

*A tous mes amis ...*

*Toute la promotion MMGC16*

*Un grand merci à tous ceux qui ont participés de près  
ou de loin à la réalisation de cet ouvrage à leur tête  
les fonctionnaires de LNHC unité Oued Semar  
spécialement mohamed. Hilal et surtout mustapha  
driss.*

***MENOUER.***

## ***Liste des tableaux :***

<b>Tableau 1.1 :</b> Recommandation concernant l'espace normalisé des barres afin d'éviter le blocage dans les BAPF.....	7
<b>Tableau 1.2 :</b> Domaines d'application bibliographies .....	8
<b>Tableau 2.1 :</b> Composition chimique du ciment CEM II/B- 42,5 .....	17
<b>Tableau 2.2 :</b> Composition minéralogique du ciment CEM II/B- 42,5 .....	17
<b>Tableau 2.3 :</b> Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B- 42,5 .....	18
<b>Tableau 2.4 :</b> Caractéristiques mécanique du ciment CEM II/B- 42,5 .....	18
<b>Tableau 2.5 :</b> Caractéristiques physiques de la poudre de marbre .....	19
<b>Tableau 2.6 :</b> Composition chimique de la poudre de marbre .....	19
<b>Tableau 2.7 :</b> Caractéristiques physiques de la poudre de tuf .....	20
<b>Tableau 2.8 :</b> Composition chimique de la poudre de tuf .....	21
<b>Tableau 2.9 :</b> Caractéristiques physiques des granulats .....	23
<b>Tableau 2.10 :</b> Caractéristiques physiques du sable d'oued souf (0/4) .....	23
<b>Tableau 2.11 :</b> Analyse granulométrique du sable d'oued souf de raction (0/4) .....	24
<b>Tableau 2.12 :</b> Analyse granulométrique du gravier de fraction (8/15) .....	25
<b>Tableau 2.13 :</b> Analyse granulométrique du gravier de fraction (3/8) .....	26
<b>Tableau 2.14 :</b> Caractéristiques normalisées .....	27
<b>Tableau 3.1 :</b> Compositions de béton à base d'ajout de marbre pour 1m <sup>3</sup> .....	31
<b>Tableau 3.2 :</b> Compositions de béton à base d'ajout de tuf pour 1m <sup>3</sup> .....	32
<b>Tableau 3.3 :</b> Valeurs préconisées pour les essais .....	34
<b>Tableau 3.4 :</b> Résultats de l'essai au cône d'Abrams et les temps de T500 pour les BAP à base d'ajout de marbre .....	36
<b>Tableau 3.5 :</b> Résultats de l'essai au cône d'Abrams et les temps de T500 pour les BAP à base d'ajout de tuf .....	37
<b>Tableau 3.6 :</b> Résultats de l'essai de la boite en L pour les différents BAP à base d'ajout de marbre .....	40
<b>Tableau 3.7 :</b> Résultats de l'essai de la boite en L pour les différents BAP à base d'ajout de tuf .....	41
<b>Tableau 3.8 :</b> Résultats de l'essai de la stabilité au tamis pour les BAP à base d'ajout de marbre .....	43
<b>Tableau 3.9 :</b> Résultats de l'essai de la stabilité au tamis pour les BAP à base d'ajout de tuf .....	43

<b>Tableau 3.10</b> : Résultats de masse volumique à l'état frais pour les BAP à base d'ajout de marbre .....	<b>45</b>
<b>Tableau 3.11</b> : Résultats de masse volumique à l'état frais pour les BAP à base d'ajout de tuf .....	<b>45</b>
<b>Tableau 3.12</b> : Résultats des essais à l'état frais des BAP étudiés .....	<b>47</b>
<b>Tableau 3.13</b> : Résultats des propriétés mécaniques des BAP et BAPF .....	<b>52</b>

## Listes des figures :

<b>Figure 1.1 :</b> Effets des fibres sur l'étalement des BAP .....	5
<b>Figure 1.2 :</b> L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre .....	5
<b>Figure 1.3 :</b> L'évolution du temps d'écoulement à travers l'essai V-Funnel en fonction du facteur de fibres .....	6
<b>Figure 1.4 :</b> Différentes formes de fibres .....	10
<b>Figure 1.5 :</b> Fibres métalliques .....	11
<b>Figure 1.6 :</b> Effet de retardement de la fissuration avec fibres et béton .....	12
<b>Figure 1.7 :</b> Illustration de l'apport du renfort par des fibres .....	13
<b>Figure 2.1 :</b> Poudre de marbre utilisée .....	19
<b>Figure 2.2 :</b> Poudre de Tuf utilisé .....	20
<b>Figure 2.3 :</b> Analyse granulométrique des granulats .....	26
<b>Figure 3.1 :</b> Malaxage de béton autoplaçant .....	33
<b>Figure 3.2 :</b> Moules de béton autoplaçant .....	33
<b>Figure 3.3 :</b> Conservation des éprouvettes .....	33
<b>Figure 3.4 :</b> Essai de cône d'Abrams .....	35
<b>Figure 3.5 :</b> Valeurs d'étalements pour les différents BAP à base d'ajout de marbre .....	38
<b>Figure 3.6 :</b> Valeurs d'étalements pour les différents BAP à base d'ajout de tuf. ....	38
<b>Figure 3.7 :</b> Valeurs des temps (T500) pour les différents BAP à base d'ajout de marbre ...	39
<b>Figure 3.8 :</b> Valeurs des temps (T500) pour les différents BAP à base d'ajout de tuf .....	39
<b>Figure 3.9 :</b> Essais de la boîte en L .....	40
<b>Figure 3.10 :</b> Variation de la capacité de remplissage pour les différents BAP à base d'ajout de marbre .....	41
<b>Figure 3.11 :</b> Variation la capacité de remplissage pour les différents BAP à base d'ajout de tuf .....	42
<b>Figure 3.12 :</b> Essai de stabilité au tamis .....	43
<b>Figure 3.13 :</b> Variation de la stabilité au tamis pour les différents BAP à base d'ajout de marbre .....	44
<b>Figure 3.14 :</b> Variation de la stabilité au tamis pour les différents BAP à base d'ajout de marbre .....	44
<b>Figure 3.15 :</b> Essai de la masse volumique .....	45

<b>Figure 3.16</b> :Variation de la masse volumique à l'état frais des différents BAP à base d'ajout de marbre .....	<b>46</b>
<b>Figure 3.17</b> : Variation de la masse volumique à l'état frais des différents BAP à base d'ajout de tuf .....	<b>46</b>
<b>Figure 3.18</b> : Machine d'essai de flexion .....	<b>50</b>
<b>Figure (3.19-a)</b> : Répartition des fibres dans les bétons à base d'ajout de marbre .....	<b>50</b>
<b>Figure (3.19-b)</b> : Répartition des fibres dans les bétons à base d'ajout de tuf .....	<b>51</b>
<b>Figure 3.20</b> : Bâti de compression .....	<b>51</b>
<b>Figure 3.21</b> : Mode d'essai et rupture de l'éprouvette .....	<b>52</b>
<b>Figure 3.22</b> :Variation de résistance à la traction par flexion en fonction de pourcentage des fibres .....	<b>53</b>
<b>Figure 3.23</b> : Variation de résistance à la traction par flexion en fonction de pourcentage des fibres .....	<b>53</b>
<b>Figure 3.24</b> :Variation de résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres.	<b>54</b>
<b>Figure 3.25</b> :Variation de résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres.	<b>54</b>
<b>Figure 3.26</b> : Rupture du béton témoin (Rupture fragile à mi-portée) .....	<b>55</b>
<b>Figure 3.27.a</b> : rupture du béton témoin BAPTT .....	<b>55</b>
<b>Figure 3.27.b</b> : rupture du béton témoin BAPMT .....	<b>55</b>
<b>Figure 3.28.a</b> : Mode de rupture ductile pour BAPFM1- BAPFM2- BAPFM3 .....	<b>56</b>
<b>Figure 3.28.b</b> : Mode de rupture ductile pour BAPFT1- BAPFT2- BAPFT3 .....	<b>56</b>
<b>Figure 3.29</b> : Densification des fissures et rupture ductile .....	<b>57</b>

# Sommaire

## . Introduction générale

### Chapitre I : Recherche bibliographique

1.1. Historique de béton de fibres.....	1
1.2. Introduction .....	2
1. 3. Composition des bétons autoplaçants fibrés .....	2
1. 4. Formulation des bétons autoplaçants fibrés .....	2
1.5. Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés .....	3
• Effet du volume des fibres .....	3
• Effet de la longueur des fibres .....	4
• Effet de l'aspect ratio et la forme géométrique .....	4
1.6. Influence des fibres sur les propriétés rhéologiques des bétons autoplaçants .....	4
1.6.1. Essai d'étalement .....	4
1.6.2. Essai de V-funnel .....	5
1.6.3. Essai J-RING.....	6
1.6.4. Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique .....	7
1.7. Orientation et distribution des fibres .....	7
1.8. Utilisation des BAP fibrés dans les structures .....	8
1.9. les fibres .....	9
1.9.1.Fibres métalliques .....	10
1.9.2.Propriétés mécaniques des fibres métalliques .....	12
1.10. Rôles des fibres dans le béton .....	12
1.11. Fabrication de béton de fibres .....	13
1.12. Domaines d'application .....	13
1.13.Effet des fibres sur la maniabilité et la résistance du BAP .....	14
Effet sur la maniabilité .....	14
Effet sur la résistance .....	15
1.14. Les fines et leur rôle dans les bétons autoplaçants .....	15
1.15. CONCLUSION .....	15

## **Chapitre II : caractéristiques des matériaux**

<b>Introduction</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Ciment</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. Ajouts cimentaires</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.1. Poudre de marbre</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.2. Poudre de tuf</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3. Super plastifiant</b> .....	<b>21</b>
<b>Description</b> .....	<b>21</b>
<b>Propriétés et effets</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4. Caractéristiques des granulats</b> .....	<b>23</b>
<b>2.5. Analyse granulométriques</b> .....	<b>23</b>
<b>2.6 Fibres métalliques</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.1 Domaine d'utilisation</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.2 Caractéristiques</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.3 Caractéristiques normalisées</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.4 Mode d'emploi</b> .....	<b>27</b>

## **Chapitre III : Formulation et caractérisation des BAP fibrés**

<b>Introduction</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1. Formulation des BAP</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2. Préparation de la gâchée</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3. Conservation des éprouvettes</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4. Caractérisation expérimentale des bétons et bétons fibrés</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4.1. Caractérisation à l'état frais</b> .....	<b>34</b>
<b>-Essais au cône d'Abrams</b> .....	<b>34</b>
<b>-Essai de la boîte en L</b> .....	<b>39</b>
<b>-Essai de stabilité au tamis</b> .....	<b>42</b>
<b>-La masse volumique</b> .....	<b>44</b>
<b>-Analyse des résultats</b> .....	<b>47</b>

. Influence des fibres sur l'étalement .....	47
. Influence des fibres sur le T500 .....	48
- Essai de la stabilité au tamis .....	48
- Essai de la boîte en L .....	49
- Influence des fibres sur la masse volumique .....	49
<b>3.4.2. Caractérisation à l'état durci .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2.1. Introduction .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2.2. Essai de résistance à la traction par flexion. [NF P18-407] .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2.3. Essai de résistance à la compression. [NF P18-406] .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4.2.4. Résultats des essais .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.2.5. Mode de rupture par flexion selon la composition .....</b>	<b>55</b>
<b>a. Cas du béton témoin BAPMT et BAPTT .....</b>	<b>55</b>
<b>b. Cas des BAP fibrés de 0.2%-0.3%-0.4% de fibres.....</b>	<b>56</b>
<b>c. Cas des BAP fibrés de 0.5% de fibres .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.2.6. Analyse des résultats .....</b>	<b>57</b>
<b>A. Analyse des résultats de flexion .....</b>	<b>57</b>
Cas des BAP à base d'ajout de marbre.....	57
Cas des BAP à base d'ajout de Tuf .....	57
<b>B. Analyse des résultats de compression.....</b>	<b>58</b>
Cas des BAP à base d'ajout de marbre.....	58
Cas des BAP à base d'ajout de tuf .....	58
. Conclusion générale	
. Perspectives	

## Résumé

Cette étude a pour but essentiel de formuler et caractériser le comportement rhéologique et mécanique des bétons autoplaçants à base d'ajouts locaux (marbre et tuf) renforcés par les fibres métalliques.

L'intérêt d'incorporer les fibres dans ce béton, réside dans la possibilité d'améliorer ses performances mécaniques. Les différents résultats obtenus ont montré une amélioration de résistance à la flexion ainsi qu'à la compression pour le cas des BAPF à base d'ajout de tuf par rapport au BAPF à base d'ajout de marbre où les résistances à la flexion et à la compression ont été peu affectés. Cependant, le mode de rupture de ces deux types de BAP fibrés devient alors ductile par rapport aux BAP témoins (non fibrés) dont le mode de rupture est fragile. Nous avons enregistré un gain considérable de ductilité dans les deux types de BAP fibrés (à base d'ajout de marbre et celui de tuf).

**Mots clés :** béton autoplaçant, ajouts cimentaires, fibres métalliques, comportement mécanique, mode de Rupture , essais rhéologiques.



# Introduction Générale

# Introduction générale

Le béton est le matériau le plus utilisé dans les constructions à travers le monde. En effet, sa rapidité de fabrication, sa mise en place, son faible cout et ses performances mécaniques ainsi que sa durabilité ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme des immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des centrales nucléaires.

De nos jours, le béton doit répondre à des exigences toujours plus sévères en matière de performances mécaniques, de durabilité, d'ouvrabilité, d'environnement et d'aspect. La technologie du béton ne cesse dès lors de se compliquer. De nouveaux bétons sont ainsi apparus tels que les bétons à haute résistance, les bétons autoplaçants et les bétons recyclés.

La vibration a toujours été le moyen d'obtenir une mise en place aisée, un bon remplissage de coffrage. Devant la complexité croissante des structures, formes variées, concentration d'armatures, les formulations de béton ont dû s'adapter, ce qui rend la mise en œuvre des bétons ordinaires très compliquée à ce types d'ouvrages avec des défaillances structurales très probables.

Afin d'assurer des structures durables et uniformes et éviter les erreurs dues à la mise en place du béton, l'idée de produire les bétons fluides qui s'étalent dans les coffrages sans effort de vibration, c'est ainsi que le concept du béton autoplaçant a vu le jour.

L'idée de produire des bétons autoplaçant a été lancée pour la première fois au Japon vers la fin des années 80. Depuis, l'utilisation de cette gamme de béton a été répandue de plus en plus partout dans le monde. En effet d'après son développement, le nombre d'ouvrages réalisés avec les bétons autoplaçants ne cesse d'augmenter surtout au Japon où l'utilisation de ce nouveau matériau est réponde dans le domaine de la construction.

L'objectif d'obtenir un béton plus résistant en flexion et en traction fait l'objet de nombreuses recherches. Cependant, la notion d'une résistance en traction faible en comparaison avec celle en compression entraîne un comportement fragile pour le béton.

Pour compenser cette fragilité ainsi que pour pallier sa faible résistance en traction et pour contenir une macrofissuration stable dans les zones tendues, le béton doit être renforcé dans la plupart des cas par des armatures.

Ce renforcement est une étape importante dans l'histoire de ce matériau qui a contribué au développement des applications structurales, en assurant une bonne sécurité. Donc, l'introduction des barres d'acier a pour but de contrôler la macrofissuration.

Une méthode différente consiste à agir non pas au niveau de la structure, mais à l'échelle du matériau. Elle consiste à renforcer le béton par des fibres. Avec un choix approprié du type de fibres, de leur taille ainsi que de leur dosage, il est possible d'inhiber la propagation des premières microfissures. Les fibres, en assurant le transfert de contraintes à travers la fissure, limitant son ouverture et sa propagation. La localisation de la macrofissuration est ainsi retardée, limitant ainsi la fragilité du matériau.

L'objectif de notre mémoire est d'évaluer les propriétés rhéologiques et mécaniques d'un béton autoplaçant à base de matériaux locaux renforcé par des fibres métalliques. Pour cela on a étudié deux compositions de béton autoplaçant ; dont on a changé le type d'ajout. La première composition est à base d'ajout de marbre (inerte), ainsi que la deuxième est à base d'ajout de tuf (actif). Pour les deux compositions, on a gardé le même type de fibre métallique et même variation de dosage en fibre (0.2%-0.3%-0.4%-0.5% par rapport au volume du béton)

Le travail est structuré comme suit :

Le premier chapitre présente l'état de l'art des BAP et BAPF (BAP Fibré) d'un point de vue générale.

Dans le deuxième chapitre, on a traité la détermination des caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton.

Le troisième chapitre est consacré à la formulation d'un BAP et BAPF, la méthode de calcul, ainsi que la caractérisation rhéologique (stabilité au tamis, étalement au cône d'ABRAMS et l'essai de boîte en L) et sa caractérisation mécanique (résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion).

Enfin le travail est clôturé par une conclusion générale.

# Chapitre

# 1

## 1.1. Historique de béton de fibres

Une analyse profonde de ce concept nous indique que cette idée est très ancienne et date depuis l'antiquité. En effet les pharaons ont pensé à l'idée des pailles pour renforcer la brique de boue d'après Exode 5:6 comme il est le cas Finlandais utilisant pour la 1ère fois, les fibres d'amiante dans le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ANTOINE, E.N - Mars 1985 et ACI COMMITTEE 554 Mars- Avril 1984 ont indiqué que l'usage de cette technique par le biais de pailles afin de renforcer les briques, tandis que les poils des animaux et les fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. On peut noter aussi la réalisation, au milieu du XX é siècle, d'alliages métalliques avec fibre de carbone.

En 1910, une série d'essais pour améliorer la résistance du béton a été faite par J.PORTER qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmente sa résistance à l'écrasement et à la traction. Par la suite 1911, GRAHAM a établi un brevet sur les bétons de fibres. C'était le premier brevet Américain où il a décrit l'emploi des tranches d'acier comme des renforts fibreux dans les matériaux de construction. Un deuxième brevet Américain sur ce sujet a été pris par WEAKLY.

En 1912, qui consiste à l'utilisation des bandes en fils d'acier fabriquées avec deux fils, avec l'intermédiaire d'un anneau, afin d'assurer une adhérence durable avec le béton.

En 1920, A. KLEINLOGEL a déposé le premier brevet Allemand qui a décrit la synthèse d'ajouter un volume relativement important, de particules de fer au béton pour produire une masse capable d'être usinée (par tournage) comme une masse d'acier .Quelques années après, en 1938, un autre brevet a été établi par N. ZITEVIC en Grande Bretagne. Son procédé consiste à mélanger avec le béton des petits éléments en fer approximativement avec 100 mm de long et 1.00 mm de diamètre. Ces éléments métalliques sont très semblables aux fibres utilisées aujourd'hui pour armer le béton. Il a conclu qu'il y a une amélioration de la résistance du béton à la compression, à la traction et au cisaillement.

A partir de 1940, plusieurs procédés sont apparus dans de différents pays. Ces procédés recommandent en général l'inclusion des fibres d'acier dans le béton pour améliorer sa performance. Mais on note ici que celui de G.CONSTANTINESCO, en 1943 en Angleterre et en 1954 en U.S.A, mérite une attention particulière.

A partir des années 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres d'acier. La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans des applications industrielles. Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS. Dans cet article, ils ont confirmé que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance.

## 1.2. Introduction

Depuis les découvertes dans le domaine des bétons, une multitude de constructions a été réalisée avec ce matériau cimentaire modifié. La fabrication d'une large quantité de dallages industriels a été exécutée avec des dosages en fibres de 20 à 60 kg/m<sup>3</sup>. Contrairement au béton conventionnel, les fibres permettent le transfert de forces à travers de larges ouvertures de fissures et impliquent ainsi un comportement ductile [1]. On appelle béton de fibres, le mélange homogène d'une matrice minérale (mortier ou béton) et d'éléments de renfort discontinu sous forme de fibres. C'est un matériau composite qui se présente sous forme d'un solide polyphasé dans lequel deux ou plusieurs constituants sont associés en vue de lui conférer, à l'échelle macroscopique et au moins dans certaines directions, un ensemble original de propriétés que les constituants pris isolément ne permettent pas d'atteindre. L'incorporation de ces renforts se fait par l'inclusion directe de fibres isolées au moment de gâchage (béton de fibres) ou de la projection (cas de béton de fibres projeté). Il peut aussi contenir des ajouts minéraux ou autres adjuvants généralement utilisés avec le béton autoplaçant qui présente une solution prometteuse. En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'addition des fibres a une influence directe sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. D'après Groth [2], cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élanement. D'après Peiffer [3-4], la longueur optimale d'une fibre doit être égale à deux fois la longueur d'ancrage  $L_c$  de façon à avoir un bon comportement mécanique du point de vue de l'arrachement ou de la rupture de la fibre.

## 1.3. Composition des bétons autoplaçants fibrés

La composition de mélange du béton autoplaçant renforcé de fibres est souvent un compromis entre conditions sur l'état frais et durci : Une diminution soudaine d'ouvrabilité se produit à un certain contenu de fibre, qui dépend de la composition du mélange et de type de fibre. Les paramètres touchant sur le comportement du béton dans l'état frais ont été variés dans plusieurs études expérimentales pour trouver leur effet sur les caractéristiques principales du BAPF [5]

## 1.4. Formulation des bétons autoplaçants fibrés

La conception du mélange est souvent basée sur quelques principes de base : augmenter la teneur en pâte, le dosage en superplastifiant et le contenu des granulats fins à l'allongement et au volume croissant de fibres. ROSSI, HARROUCHE et HOY [6] ont approché la conception du mélange des matrices de béton autoplaçant renforcé de fibres sur une façon plus systématique : ils ont optimisés le squelette granulaire, le contenu et les caractéristiques de la pâte doit être tenue en compte pour lier

l'ouvrabilité et la composition du mélange. La distribution homogène et l'orientation des fibres sont souvent assurées mais rarement étudiées. La condition sur les caractéristiques principales du BAP demeure la même pour les BAPF ; l'obtention des BAPF peut être faite de différents points de : la capacité de remplissage ; le comportement de post-fissuration ; la classe de résistance à la flexion par fendage et les coûts. ROSSI et HARROUCHE ont proposé une méthode de conception pour optimiser le squelette granulaire du béton de tissu renforcé qui a été basé sur la méthode Baron-Lesage. Ils ont fait toute prétention : d'abord, le béton le plus réalisable est obtenu au cas où le squelette granulaire serait optimisé. En seconde lieu, le premier juge varie indépendamment de la nature ou du volume de la pâte de ciment [5].

### **1.5. Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés**

Pour améliorer quelques propriétés mécaniques des bétons autoplaçants (résistance à la traction, à la flexion, ductilité...), des fibres sont incorporées. Ce renforcement peut influencer le comportement de ces derniers à l'état frais et durci. Les fibres influent directement sur l'ouverture de la fissure et donc sur la rigidité et la ductilité après fissuration. Au préalable, il convient de définir ce qu'on entend par un béton témoin lorsqu'on cherche à le comparer à un béton de fibres. La démarche généralement adoptée consiste à fabriquer un béton et à le comparer au même béton auquel on a mélangé des fibres. L'effet des propriétés des fibres qui ont une influence directe sur les propriétés mécaniques des BAPF tel que la flexion et la compression et qui ont fait l'objet de quelques recherches sont résumés ci-après :

#### **• Effet du volume des fibres**

Pour les bétons fibrés, le concept de la ductilité est souvent utilisé pour caractériser leur rendement [7]. L'objectif principal de l'utilisation des fibres dans les matériaux composites (béton, mortier...) est l'amélioration du comportement structural en traction. KHAYAT et al. 2000 [8] ont noté une amélioration de la résistance à la flexion de prismes 100×100×350 mm des BAPF par rapport au béton conventionnel. MUELLER [9] GAO et al. [10] trouvent que l'une des raisons de l'augmentation de la résistance en flexion est le volume des fibres  $V_f$ . Le  $V_f$  est le paramètre responsable direct sur le comportement de la matrice BAPF à l'état durci. YADEGARAN et al. [11] ont prouvé que l'inclusion de fibres synthétiques de 12 mm de longueur dans les BAP réduit la résistance à la compression à différents âges. DREUX et al. 2002 [12] ont conclu que les fibres augmentent la résistance à la compression. SAHMARAN et al. 2005 [13] ont constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du volume des fibres surtout dans le cas où les fibres sont de petite taille. Par contre BANTHIA et al. 2000a [14] et ZHANG et al. [15] ont observé que l'effet des fibres sur les BAP n'est pas clair ou sensible.

### • Effet de la longueur des fibres

Les travaux entrepris par ZHANG et al. [15] sur le béton pour les applications de béton projeté contenant 60% de cendres volante en substitution partielle avec le ciment, a montré que l'augmentation de la longueur des fibres  $L_f$  a conduit à une augmentation de l'indice de ténacité, et par conséquent une augmentation de la résistance résiduelle à 14 jours d'âge. Mais, un résultat inverse inexplicable a été obtenu à 91 jours. Les différents essais ont montré que la résistance à la flexion du béton de fibres est indépendante de  $L_f$ . ZHANG et al. ont constaté que la charge de la fissure était légèrement influencée par des fibres de polypropylène. DREUX et al. [12] ont mentionné que les différents tests ont prouvé une légère augmentation de la résistance à la compression lors de l'utilisation des fibres courtes en raison de leurs meilleures homogénéités dans la matrice béton.

### • Effet de l'aspect ratio et la forme géométrique

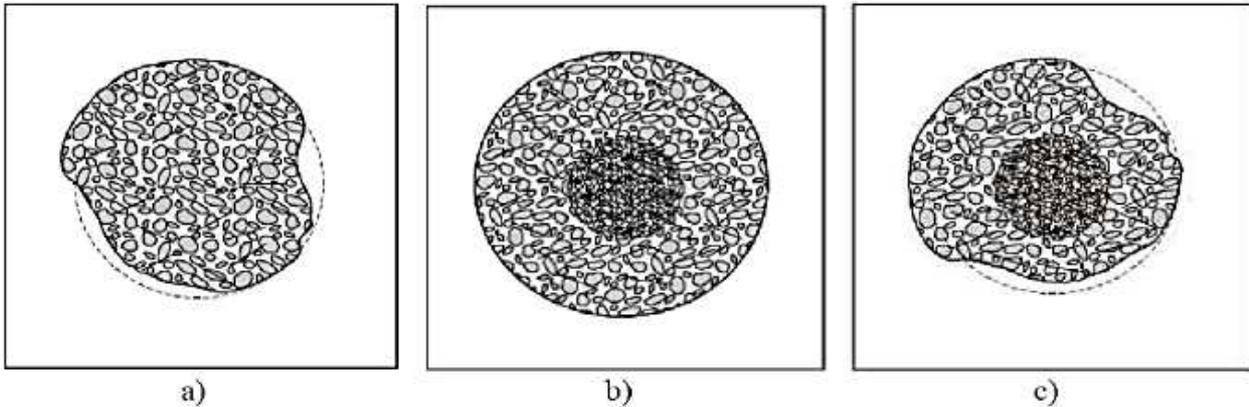
L'aspect ratio ( $L_f / d_f$ ) affecte également le comportement en flexion du béton. Cependant, l'influence de ce paramètre sur lui-même dépend du  $V_f$  et la géométrie de la fibre. Généralement, pour les bétons ordinaires, la résistance à la flexion augmente avec l'augmentation de  $L_f / d_f$  [16]. Avec l'utilisation de diverses formes de fibres, il est difficile de séparer l'aspect ratio de la géométrie des fibres. Pour un  $L_f / d_f$  donné, la ténacité des bétons de fibres varie sensiblement en fonction de la géométrie des fibres utilisées. BALAGURU et al. [17] ont suggéré pour les bétons ordinaires (30 MPa), que les fibres les plus performantes sont : les fibres à crochets, embouties aux extrémités, ondulées, et les fibres droites. GAO et al. [10] ont observé que la ténacité à la flexion augmente avec l'augmentation de la  $L_f / d_f$ . Luo et al. [18] ont étudié l'effet de cinq types de fibres d'acier avec différents  $L_f / d_f$  et  $V_f$  sur la résistance à la compression. Les auteurs ont constaté que lorsque l'aspect ratio augmente, la résistance augmente. Des résultats similaires ont été trouvés par GAO et al. [10] en utilisant des fibres d'acier dans les bétons légers et à haute résistance.

## 1.6. Influence des fibres sur les propriétés rhéologiques des bétons autoplaçants

### 1.6.1. Essai d'étalement.

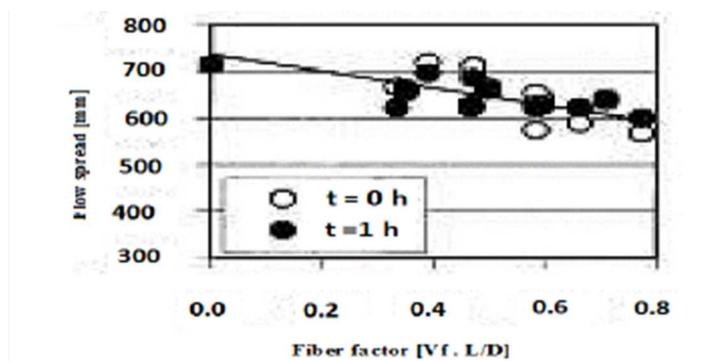
L'analyse bibliographique montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente. Le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans composition de référence. On remarque sur la Figure 1-1-a une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant 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 1-1-b) avec des fibres plus longues, une

ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. La Figure 1-1-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



**Fig.1 -1-** Effets des fibres sur l'étalement des BAP [19].

Sachant que l'élanement ( $L_f/D_f$ ) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, Grünewald et Walravens 2001a [19] se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme le produit entre la teneur volumique en fibres  $V_f$  et l'élanement. La Figure 1-2 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.

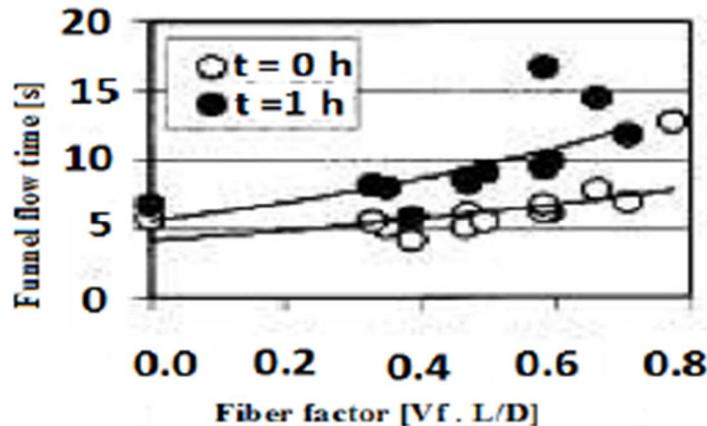


**Fig . 1 . 2** – L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre [20]

### 1.6.2. Essai de V-funnel.

Grünewald a trouvé que les temps d'écoulement à travers l'entonnoir (V-funnel) pour les différentes compositions directement après malaxage sont dans une gamme comprise entre 4,5s et 5,7s [20].

On note sur la Figure 1-3 une augmentation linéaire du temps d'écoulement en fonction du facteur de fibres. Le comportement à l'écoulement des bétons évalué par l'intermédiaire de cet essai dépend essentiellement de la viscosité ainsi que de la taille du plus gros granulats par rapport aux dimensions de l'ouverture de l'entonnoir. Les temps de passage à travers l'entonnoir à  $t = 1$  h sont nettement plus élevés qu'à  $t = 0$  heure.



**Fig. 1.3.** L'évolution du temps d'écoulement à travers l'essai V-Funnel en fonction du facteur de fibres [20]

### 1.6.3. Essai J-RING.

Le J-Ring est un essai d'étalement modifié par les japonais pour évaluer la sensibilité au blocage des bétons fibrés dans le milieu confiné notamment par les armatures. Les fibres affectent de manière significative la capacité de passage par rapport à la composition de référence sans renfort de fibres. L'espacement exigé des barres pour le non blocage augmente avec le dosage en fibre. Dhonde et al 2007 ont réalisé une étude sur le comportement à l'état frais des bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques et ont conclu que l'écoulement est obstrué par les barres, ce qui crée une différence de niveau entre le béton restant à l'intérieur de l'anneau et celui passé à travers. L'élanement de la fibre, la teneur des granulats (fins ou gros) et les caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment affectent également ce comportement [1].

**Tableau 1.1.** Recommandation concernant l'espacement normalisé des barres afin d'éviter le blocage dans les BAPF [21]

$C/L_f$	$L_f/d_f$	Max. $M_f$ [kg/m <sup>3</sup> ]
$\geq 3$	80	30
	65	60
$\geq 2$	65	30
	45	60
$\geq 1,5$	45	30

Avec :

C : espacement entre les barres.

$M_f$  : dosage en fibres (kg/m<sup>3</sup> de béton).

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

Grünewald et Walravens 2001 [19] ont constaté que lorsqu'on augmente le dosage en fibres, la porosité interne du squelette granulaire est plus importante et donc la viscosité plastique est plus élevée. C'est une conséquence du frottement dit « solide » qui favorise la résistance à l'écoulement. Jusqu'à une concentration de fibres métalliques de 1 %, la viscosité plastique accroît avec une pente très faible. Au-delà de cette valeur, cette dernière devient nettement plus grande et l'écoulement du béton frais est quasi nul justifiant ainsi la consistance élevée du milieu. De plus, à taux de fibre donné, cette viscosité est plus importante lorsque les fibres sont longues [22].

#### 1.7. Orientation et distribution des fibres.

L'orientation et la distribution des fibres affectent les performances et les caractéristiques des BAP fibrés à l'état durci. Petersson 1998 a réalisé une étude sur la distribution des fibres métalliques dans la boîte en L qui a consisté à réaliser des photographies aux rayons X des sections transversales du béton durci. Les conclusions retenues sont que les fibres étaient relativement bien distribuées, bien qu'une légère ségrégation des fibres fût observée par rapport aux gros granulats. Par ailleurs, il a été constaté que la majorité des fibres étaient orientées dans le sens de l'écoulement ; cet effet était plus prononcé pour des fibres de plus grande longueur [23].

Groth et Nemegeer 1999. Ont aussi conclu que l'écoulement oriente les fibres. Même si l'écoulement propre aux BAP confère aux fibres une orientation préférentielle, le même auteur est arrivé à la conclusion selon laquelle, aux dosages en fibres courants, l'effet de ce renfort est relativement le même pour un béton vibré ou autoplaçant du moment qu'ils ont la même classe de résistance et le même type et dosage en fibres. Cette conclusion a été tirée en se basant essentiellement sur les performances en flexion [24] cité par [25]

### 1.8. Utilisation des BAP fibrés dans les structures.

Les Différentes applications de BAPF sont présentées dans le tableau I.2.

**Tableau 1.2.** Domaines d'application

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

## 1.9. Les fibres

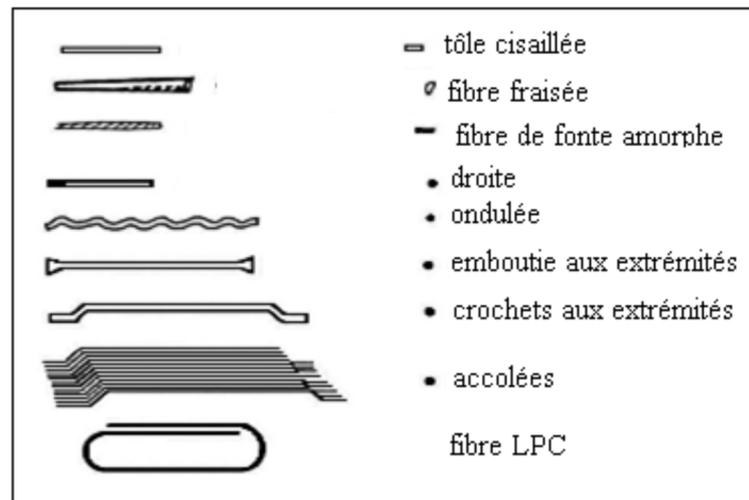
Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

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

On retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre.

Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants :

- Densité,
- Résistance tension et en compression,
- Résistance aux impacts et à la fatigue,
- Module d'élasticité,
- Conductivités thermique et électrique,
- Stabilité dimensionnelle,
- Résistance aux conditions environnementales,
- Coût,



**Fig 1.4.** Différentes formes de fibres

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres utilisées dans la confection des bétons sont classées en quatre grandes familles selon leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques :

- fibres minérales : verre, carbone ;
- fibres métalliques : acier, inox, fonte ;
- fibres organiques : polypropylène, acrylique ;
- fibres naturelles : Hévéa, Sisal ...

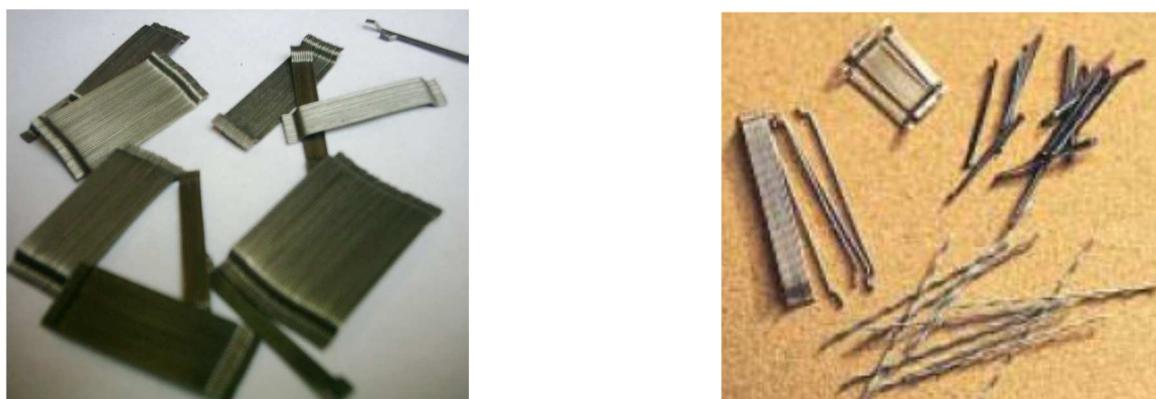
Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres.

### **I.9.1.Fibres métalliques**

Les fibres d'acier, qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil, ont fait l'objet de plusieurs recherches. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice.

Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur diamètre, leur longueur et leurs modes d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présentées des

élargissements aux extrémités, soit en crochets pour améliorer l'accrochage dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces.



**Fig 1.5. Fibres métalliques**

Les fibres métalliques notamment d'acier ont donné lieu à de nombreuses recherches pour développer leur emploi dans le béton.

La recherche de l'adhérence au béton a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- ✓ fils étirés et coupés, ondulés crantés, torsadés, avec crochets
- ✓ fibres usinées à surface rugueuse
- ✓ fibre de fonderie la fibre de fonte se présente sous forme d'un mince ruban de 30  $\mu\text{m}$  d'épaisseur.

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

La résistance en traction de ces fibres varie généralement entre 1000 et 3000MPa, mais cette résistance est rarement utilisée dans le composite dû au phénomène de pull – out des fibres.

### **1.9.2. Propriétés mécaniques des fibres métalliques**

Les fibres ont une influence importante sur le comportement mécanique du béton fibreux, leur incorporation peut augmenter les résistances, en traction, en flexion et particulièrement au cisaillement en résistant aux efforts de traction. Offrent plus de ductilité et de ténacité.

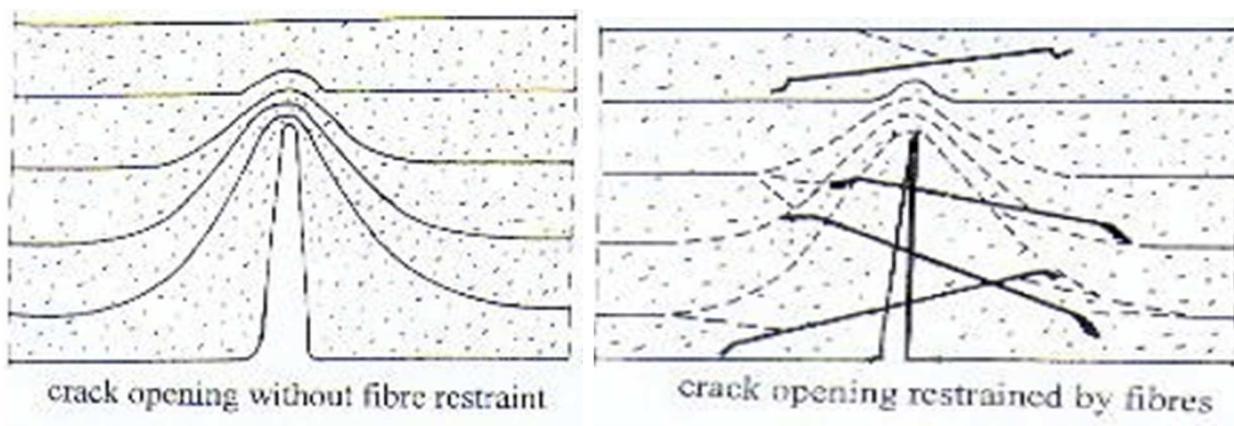
Leur géométrie est très variable (figure 1.4). Les fibres les plus utilisées sont les fibres droites. C'est l'adhérence de ces fibres avec la matrice cimentaire qui diminue la fragilité du béton par amélioration du comportement post fissuration.

Il existe des fibres à crochets. Leurs extrémités recourbées développent un ancrage et dissipent une énergie de fissuration par plastification de la fibre [26] et par frottement à l'interface avec la matrice. On trouve aussi des fibres ruban, des fibres à tête d'ancrage ou encore des fibres ondulées dont, qualitativement, les modes de fonctionnement sont les mêmes que ceux cités précédemment.

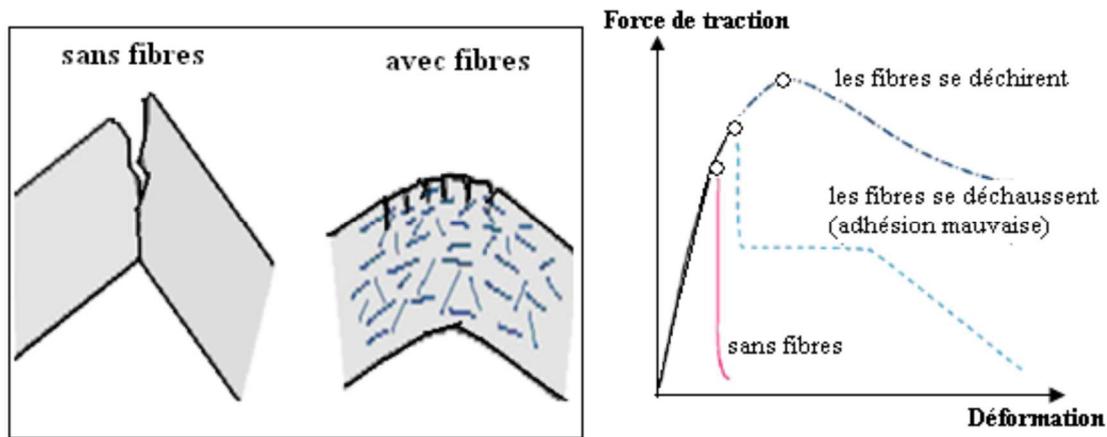
L'avantage des fibres à crochets ou ondulées est qu'elles développent un ancrage supplémentaire en plus de l'adhérence avec la matrice les rendant plus efficaces que les fibres droites. Cependant, ce type de fibres peut engendrer la formation d'oursins durant la fabrication entraînant une répartition non homogène dans le béton. Les fibres droites sont généralement utilisées pour pallier à ce problème mais, ne fonctionnant que par adhérence avec la matrice, leur efficacité s'en ressent.

### 1.10. Rôles des fibres dans le béton

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration comme il est indiqué dans la (figure.1.6). Les barres d'armature en acier jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme. Les fibres sont ajoutées à la gâchée de béton, qui contient habituellement du ciment, de l'eau et des granulats fins et grossiers.



**Figure 1.6.**Effet de retardement de la fissuration avec fibres et béton



**Figure 1.7.** Illustration de l'apport du renfort par des fibres [27].

### 1.11. Fabrication de béton de fibres

Avant de mélanger le béton, la longueur des fibres, leur quantité et la composition du mélange sont choisies pour éviter la formation de boules de fibres. Dans les mélanges renforcés, le mortier occupe d'habitude environ 70 % du volume, contre 50 % pour les mélanges de béton courants, non renforcés de fibres.

Les panneaux en ciment renforcé de fibres ne contiennent pas de granulats grossiers. Ces produits sont généralement réalisés en projetant simultanément le mortier et les fibres hachées. Un mortier ayant un rapport eau/ciment élevé facilite la projection. Il existe d'autres méthodes de fabrication, dont le coulage, moins universel que la projection, et le moulage sous pression, où le rapport eau/ciment moins élevé permet d'obtenir un produit plus résistant.

Des adjuvants chimiques sont ajoutés au mélange de béton renforcé de fibres, notamment pour augmenter son ouvrabilité. En Amérique du Nord, les entraîneurs d'air et les réducteurs d'eau sont ordinairement additionnés aux mélanges qui contiennent une proportion de 50 % ou plus de granulats très fins.

Les superplastifiants incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et l'ouvrabilité des mélanges frais.

### 1.12. Domaines d'application

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. (Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton) Parmi ces domaines on cite : } Bâtiment } Travaux publics } Génie-civil autre que le bâtiment et travaux publics → Domaine du bâtiment Les utilisations actuelles des bétons de fibres métalliques dans le domaine du bâtiment concernent, principalement les dallages industriels en béton de fibres métalliques ; Paraît plus intéressant que le dallage non armé, car l'ajout de fibres permet de diminuer l'épaisseur et le nombre de joints du dallage. → Domaine des travaux publics Les surfaçages des chaussées et des pistes aéroportuaires en béton Les revêtements définitifs de tunnel en béton de fibres métalliques, les parois clouées, les dalles de pont mixte, le renforcement des buses métalliques corrodées → Génie-civil Une application mise en œuvre in situ, pourrait être intéressante, de développer dans les années avenir : Il s'agit des aéro-réfrigérants de centrale nucléaire. L'utilisation des bétons de fibres métalliques dans les tuyaux d'assainissement, repose sur les raisons suivantes : Rapidité de fabrication, diminuer l'épaisseur des tuyaux, éviter les investissements importants : En dehors du génie-civil : Les fosses toutes eaux des bétons à ultra-hautes performances fibrés [28].

### 1.13. Effet des fibres sur la maniabilité et la résistance du BAP

#### ➤ Effet sur la maniabilité

Dès son apparition, c'est peut-être la maniabilité des BAP qui attire l'attention. Cette propriété qui assure la fabrication et la mise en œuvre des ouvrages peut aboutir toujours à une finition de qualité acceptable.

L'incorporation des fibres que ce soit de polypropylènes ou métalliques, peut apporter quelques modifications sur les comportements rhéologiques ou mécaniques des BAP.

[Y. ROUSSEL] a montré que l'apport en fibres diminue la précision de l'indice d'ouvrabilité qu'apporte l'essai d'étalement, et la maniabilité semble devenir moins bonne lorsque le volume de fibres dépasse le 1% du volume de mélange [CANADA 2000].

D'autres chercheurs ont montré que l'association des fibres synthétiques et des fibres métalliques peut donner aux BAP des comportements plus ductiles que dans le cas des bétons fibrés seulement avec des fibres métalliques [2006].

[HOCINE OUCEIF ET COLL.] ont montré aussi, que pour une même composition de béton, une teneur de 0.5% de fibres courtes (métalliques) a la même efficacité que l'utilisation de plus de 1% de fibres plus longues (synthétiques). Ils ajoutent également, que pour un BAP bi fibré de différentes dimensions et propriétés (fibres métalliques de fonte amorphe adhérente de 20mm et 30mm, et fibres synthétiques glissantes de 40mm et 50mm), ils ont pu formuler des BAP répondants aux critères rhéologique fixés [2006].

➤ **Effet sur la résistance**

Les fibres ont habituellement un faible effet sur la résistance à la compression. Leur effet le plus significatif a trait au comportement en flexion (traction), ainsi dans plusieurs applications, les bétons renforcés de fibres sont utilisés dans des endroits où ils sont soumis à de tels efforts [Y.ROUSSEL .2000].

Les fibres métalliques utilisées essentiellement en dallages industriels, dallages de parking, les pistes, les pieux, les déversoirs de barrage, les silos [G.DREUX ET J.FESTA en 1996], présentent une bonne résistance à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité et une réduction du nombre de joints de retrait [BETONS VICAT].

Egalement, les fibres polypropylènes n'assurent pas un renforcement structural du béton, elles s'opposent aux effets du retrait plastique et peuvent se substituer pour cette fonction au treillis antifissuration [SIKAFIBRES ANTIFISSURES]. [29]

#### **1.14. Les fines et leur rôle dans les bétons autoplaçants**

Pour les BAP, des ajouts cimentaires sont habituellement utilisés en remplaçant une fraction de la quantité de ciment pour améliorer principalement la rhéologie et la stabilité. De plus, l'utilisation d'ajouts cimentaires comporte des avantages non négligeables comme une baisse de la chaleur d'hydratation et une baisse du coût global du béton. Pour les BAPF, le ciment est généralement un ciment portland ou de haut fourneau. A celui-ci sont mélangés soit des cendres volantes, soit du filler calcaire. Le choix des additions et de leur teneur respective doit se faire en fonction des exigences de résistance à la compression et de durabilité telles qu'imposées par les normes. Pour les fumées de silice, en présence d'un super plastifiant est utilisé en petite quantité pour des bétons ayant un faible E/C, les fumées de silice peuvent augmenter quelque la quantité d'eau libre le mélange de béton et accroître sensiblement la maniabilité. De plus ; les fumées de silice augmentent la cohésion du béton et diminuent donc le ressuage et la ségrégation. L'utilisation de fumées de silice à un dosage inférieur à 10% de la quantité du ciment, permet d'obtenir des bétons plus denses et plus imperméables (elles réduisent les dimensions des plus gros pores), donc plus durables. Cependant, était donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton, la cure du béton doit être bien effectuée.

### 1.15. CONCLUSION

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles. Depuis les trente dernières années, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de croître pour la fabrication du béton prêt à l'emploi, du béton préfabriqué, du béton projeté ainsi que le renforcement du béton autoplaçant. Les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous diverses formes et dimensions (rondes, plates, gaufrées et déformées), dont la longueur varie généralement entre 6 et 150 mm tandis que l'épaisseur est comprise entre 0,005 à 0,75 mm. Chacune de ces catégories de fibres procure au béton des propriétés spécifiques mais, en général, il serait suffisant de vouloir parler de béton renforcé de fibre.

Le terme "Fibre" se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte. Le paramètre numérique le plus fondamental décrivant la fibre est son élancement qui est défini comme le rapport entre la longueur et le diamètre ( $l/d$ ) équivalent à la fibre. Il est considéré comme l'un des paramètres les plus importants dans la technologie des bétons renforcés de fibres, comme son rôle prépondérant sur la maniabilité du béton.

Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures en état de service et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile (accroît la sécurité aux ELU).

# Chapitre

# 2

## Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre mémoire. La caractérisation des matériaux de construction tels que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaines interprétations ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés, c'est l'objet de ce chapitre.

### 2.1 Ciment

Le type de ciment utilisé est un ciment portland composé (CPJ CEM II/B - 42,5) de la cimenterie de M'sila du groupe LAFARGE

**Tableau 2.1.** Composition chimique du ciment CEM II/B- 42,5.

Composition chimique	Teneur %
SiO <sub>2</sub>	15.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.52
CaO	60.71
MgO	2.39
K <sub>2</sub> O	0.59
Na <sub>2</sub> O	0.18
SO <sub>3</sub>	1.79
CaO liber	1.424
Cl	0.025
Ins	2.82
P.F	11.630
Total	100

**Tableau 2.2.** Composition minéralogique du ciment CEM II/B- 42,5.

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker (%)
Clinker	C <sub>3</sub> S	55
	C <sub>2</sub> S	20
	C <sub>3</sub> A	07
	C <sub>4</sub> AF	11
	Caol	02
Régulateur de prise	Gypse	05

**Tableau2.3.**Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B- 42,5.

Caractéristiques	Résultats
Consistance normalisée H <sub>2</sub> O	26.6(%)
Temps de prise(DP)	140min
Fin de prise (FP)	250min
Stabilité (Froid)	/
Stabilité (chaud)	0.00
Masse volumique absolue	2.99 g/cm <sup>3</sup>
Surface spécifique(SSB)	4026 cm <sup>2</sup> /g

**Tableau2.4.**Caractéristiques mécanique du ciment CEM II/B- 42,5.

Echéances en jours	Résistance à laFlexion (MPa)	Résistance à la Compression(MPa)
02 jours	4.3	20.6
07jours	5.6	36.6
28jours	6.7	43.5

## 2.2. Ajouts cimentaires

Dans notre recherche, deux types d'ajouts cimentaires ont été utilisés pour la formulation des bétons autoplaçants: La poudre de marbre et la poudre de tuf.

### 2.2.1. Poudre de marbre

Le marbre est une roche métamorphique compacte de la région de TiziOuzou, extraite par abattage à l'exploitation des moellons de dimension variant de (80-100 cm), qui sont concassés, broyés pour obtenir une poudre finement broyée dont les caractéristiques physiques et la composition chimique présentées dans les tableaux 2.5 et 2.6.

**Fig2.1.** Poudre de marbre utilisée**Tableau2.5.**Caractéristiques physiques de la poudre de marbre.

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique apparente	0.96g/cm <sup>3</sup>
Masse spécifique	2.69 g/cm <sup>3</sup>
Porosité	0.5
Couleur	Blanche
Surface spécifique(SSB)	3960 cm <sup>2</sup> /g

**Tableau2.6.**Composition chimique de la poudre de marbre.

Composition chimique	Teneur (%)
SiO <sub>2</sub>	2.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11
CaO	54.15
MgO	0.19
SO <sub>3</sub>	0.01
K <sub>2</sub> O	0.08
Na <sub>2</sub> O	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.01
Perte au feu (%)	42.86
Somme des Composition (%)	100

### 2.2.2. Poudre de tuf

Récupéré au niveau de la carrière de tuf de THENIA, fournie sous forme de poudre mouillée, après séchage à 105C°, elle est concassée, broyée pour obtenir une poudre finement broyée. Les caractéristiques physiques et la composition chimique de la poudre de tuf sont présentées dans les tableaux 2.7 et 2.8.



**Fig2.2.** Poudre de Tuf utilisé

**Tableau 2.7.**Caractéristiques physiques de la poudre de tuf

Caractéristique	Résultats
Masse volumique apparente	0.72g/cm <sup>3</sup>
Masse spécifique	2.52g/cm <sup>3</sup>
Porosité	0.4
Couleur	Jaunâtre
Surface spécifique(SSB)	3440 cm <sup>2</sup> /g

**Tableau 2.8.** Composition chimique de la poudre de tuf.

Composition chimique	Teneur(%)
SiO <sub>2</sub>	60.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.85
CaO	4.61
MgO	1.79
SO <sub>3</sub>	0.01
K <sub>2</sub> O	3.23
Na <sub>2</sub> O	2.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.48
Perte au feu (%)	4.73
Somme des compositions (%)	100

### 2.3. Super plastifiant

Dans notre travail, on a utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération, commercialisé par l'entreprise GRANITEX d'Alger.

#### *Description :*

Le medaflow 145 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le medaflow 145 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.

Le medaflow 145 ne présente pas d'effet retardateur

Caractéristiques :

Forme.....liquide.

Couleur.....brai clair.

Ph.....5-6.

Densité.....1,065+-0,015.

Teneur en chlore.....<1g /l

Extrait sec.....30+-1,5%

***Propriétés et effets :***

Grace à ses propriétés le medaflow 145 permet :

Sur béton frais :

- L'obtention d'un E/C très bas
- L'obtention plastique fluide
- Une très bonne maniabilité
- Un long maintien de l'ouvrabilité
- De faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Bonne résistances initiale et finales
- De diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- De diminuer le retrait

Domaines d'application :

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto-nivelant
- Bétons pompés
- Béton précontraints
- Bétons avec ferrailage dense

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0% du poids de ciment soit 0,33 à 1,8 litre pour 100kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

Mode d'emploi :

Lemedaflo145 est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite. Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Par temps chaud, le medaflow 145 peut être combiné à un retardateur de prise MedaretardGR

#### 2.4. Caractéristiques des granulats :

Nous avons utilisés dans ce travail les granulats suivants: un sable (0/4) d'Oued Souf et deux classes de gravillon (3/8) et (8/15).

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques des granulats utilisés pour la confection des bétons autoplaçants.

**Tableau 2.9.**Caractéristiques physiques des granulats.

Caractéristique	Symbole	Sable (0/4)	3/8	8/15
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	P <sub>s</sub>	2.67	2.73	2.73
Teneur en eau (%)	W	0.46	0.21	0
L'absorption d'eau (%)	A <sub>s</sub>	1.68	0.45	0.30
Micro Deval (%)	M <sub>DE</sub>	/	19.98	14.72
Los Angeles (%)	L <sub>A</sub>	/	30	41.26

**Tableau 2.10.**Caractéristiques physiques du sable d'oued souf (0/4).

Caractéristiques	Symbole	Résultats
Module de finesse	M <sub>f</sub>	2.56
Equivalent en sable (%)	ESV	83
	ESP	81
Valeur Bleu de méthylène (g/kg)	V <sub>B</sub>	0.5

#### 2.5. Analyse granulométriques

Il s'agit de fractionner le matériau au moyen d'une série de tamis pour déterminer sa classe. L'analyse granulométrique établie pour chaque fraction est présentée dans les tableaux suivants :

-Sable d'Oued Souf (0/4) :

**Tableau 2.11.** Analyse granulométrique du sable d'oued souf de raction (0/4).

Ouverture des Tamis(mm)	Rufus cumulé Ri	Refus cumulé	Tamisât Cumuli	Module de finesse (%)
6.3	00	00	100	2.56
5	5	0.78	99.22	
4	9	1.41	98.59	
3.15	13	2.04	97.96	
2.5	20	3.14	96.86	
2	29	4.55	95.45	
1.25	73	11.47	88.53	
1	106	16.66	83.34	
0.63	242	38.05	61.95	
0.5	329	51.72	48.28	
0.315	491	77.20	22.80	
0.250	540	84.90	15.1	
0.125	619	97.32	2.68	
0.08	629	98.89	1.11	
0.063	630	99.05	0.95	
Fond de tamis	631	99.21	0.79	

-Gravier de fraction (8/15) :

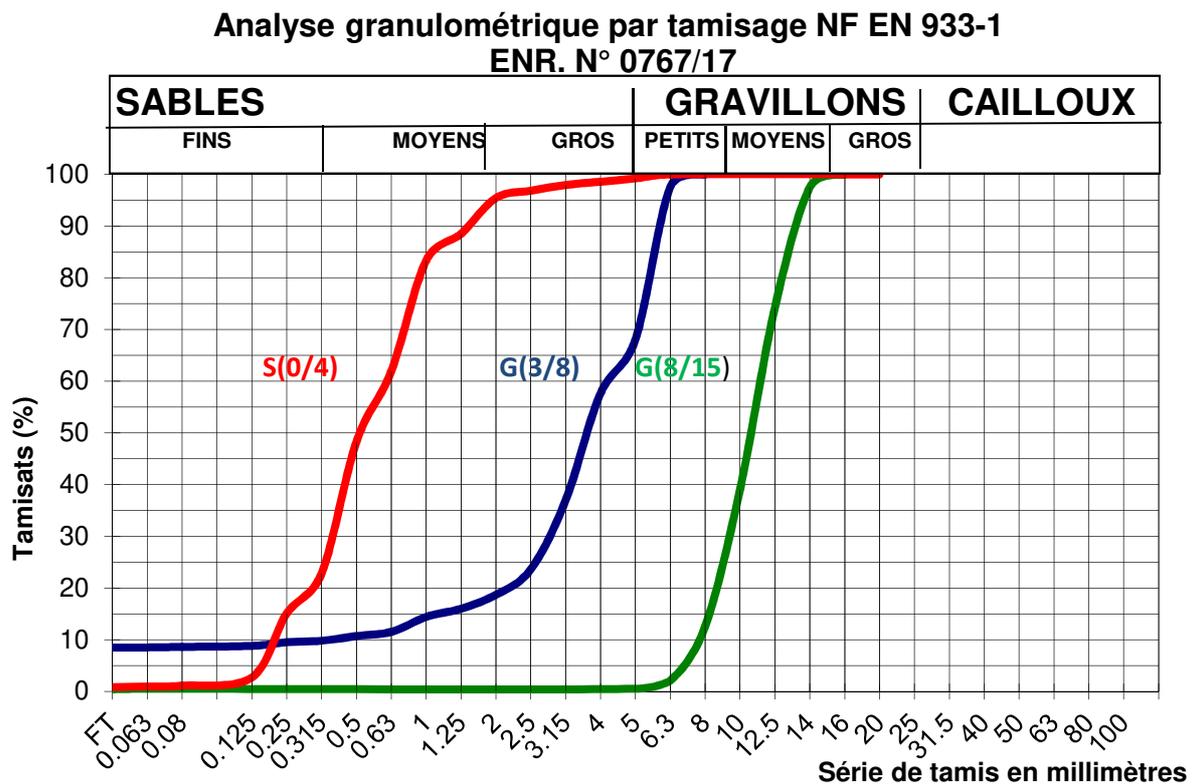
**Tableau2.12.** Analyse granulométrique du gravier de fraction (8/15).

Ouverture des tamis (mm)	Poids(g)	teneurs (%)	
	Refus cumulé (Ri)	Refus cumulé	TamisâtCumulés
	Masse sèche totale : $M_1=2700g$ Masse sèche après lavage : $M_2=2672g$	Masse sèche des fines retirées après lavage : $M_1 - M_2 =28g$	
14	00	00	100
12.5	502	18.59	81.41
10	1236	47.77	52.23
8	1758	65.11	34.89
6.3	2246	83.18	16.82
5	2596	96.14	3.86
4	2645	97.96	2.04
3.15	2660	98.51	1.49
2.5	2666	98.74	1.26
0.063	2672	98.96	1.04
Fond de tamis	2672	98.96	1.04

-Gravier de fraction (3/8) :

**Tableau2.13.** Analyse granulométrique du gravier de fraction (3/8).

Masse sèche totale : $M_1 = 603\text{g}$		Masse sèche des fines retirées après lavage :	
Masse sèche après lavage : $M_2 = 596\text{g}$		$M_1 - M_2 = 7\text{g}$	
Ouverture des tamis (mm)	Poids(g)		teneurs (%)
	Refus cumulé (Ri)	Refus cumulé	TamisâtCumulés
8	00	00	100
6.3	65	10.77	89.23
5	243	40.29	59.71
4	443	73.46	26.54
3.15	505	83.74	16.26
2.5	552	91.54	8.46
2	574	95.19	4.81
1.25	588	97.51	2.49
0.063	591	98	2
Fond de tamis	593	98.34	1.66



**Fig2.3.** Analyse granulométrique des granulats.

## 2.6 Fibres métalliques :

### 2.6.1 Domaine d'utilisation :

Les sika metal fibres viscochape sont utilisées pour renforcement de la chape ciment autonivelante sika viscochape.

### 2.6.2 Caractéristiques :

Fibre fabriquée à partir de fils d'acier tréflé

- Résistance à la traction élevée
- Résistance optimale à l'arrachement grâce aux crochets situés aux extrémités de la mortier sans augmentation du temps de malaxage
- Incorporation en centrale ou dans le camion toupie.

### 2.6.3 Caractéristiques normalisées :

**Tableau. 2.14** Caractéristiques normalisées :

<b>Forme</b>	<b>Crochets</b>
Collage	Encollées
Langueur (mm)	30
Diameter (mm)	0.55
Résistance en traction (N/mm <sup>2</sup> )	1345
Enlacement(L/D)	55
Densité	7.8

### 2.6.4 Mode d'emploi :

Les fibres doivent être introduites simultanément au granulat. Ne jamais introduire les fibres en premier.

# Chapitre 3

**INTRODUCTION :**

L'ajout de fibres dans les matériaux cimentaires a pour but de renforcer leurs propriétés mécaniques à l'état durci. Cependant, l'ajout de fibres, modifie les comportements rhéologiques des bétons autoplacants à l'état frais. Cet effet croît avec l'augmentation de la concentration de fibres dans le matériau. Au-delà de laquelle le matériau ne s'écoule plus, quel que soit son comportement rhéologique sans fibre. Pour des concentrations supérieures à cette valeur critique, des agglomérats de fibres se forment, rendant le matériau hétérogène. Cette concentration critique est alors considérée comme la concentration optimale de fibres à ajouter à un composite cimentaire pour obtenir les meilleures résistances mécaniques à l'état durci.

Le but de ce chapitre est d'étudier l'influence de l'ajout des fibres métalliques sur le comportement rhéologique des bétons autoplacant, à fin d'optimiser un meilleur BAP fibré qui atteigne des meilleures propriétés mécaniques.

**3.1. Formulation des BAP.**

La plupart des formules de BAP sont conçues actuellement de manière empirique. La méthode de Dreux-Gorisse n'est pas adaptée, car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce sont des composants essentiels d'un BAP. La formulation est donc basée sur l'expérience acquise ces dernières années. Dans l'industrie du bâtiment, on utilise principalement des bétons de 25 à 35 MPa, et par expérience on sait que ces résistances dites « ordinaires » sont facilement atteintes par les bétons autoplacants.

Avec l'expérience acquise ces dernières années, certains ordres de grandeurs pour les proportions des constituants sont maintenant connus et utilisés :

- Le volume de gravillons est limité en prenant un rapport G/S (masse de gravillons sur masse de sable) proche de 1.
- Le volume de pâte varie entre 330 et 400 l/m<sup>3</sup>.
- La masse de ciment est supérieure ou égale au minimum requis par la norme NF EN 206-1, soit en général de 300 à 400 kg/m<sup>3</sup>.
- En complément, la masse d'addition se situe entre 60 et 200 kg/m<sup>3</sup>.
- Le dosage en superplastifiant est proche de son dosage à saturation.

Quatre bétons autoplacats seront étudiés dans cette partie, formulés d'après la méthode japonaise prenant en compte l'optimisation la pâte de ciment à base des ajouts tuf ou marbre.

**A. Formulation des bétons autplaçants à base d'ajout de marbre :**

-Le dosage du ciment est  $400 \text{ kg/m}^3$

-Le volume de la pâte pour  $1 \text{ m}^3$  du BAP égale à  $340 \text{ l/m}^3$ .

$40 \text{ kg/m}^3$  du (tuf ou marbre) comme addition (10 % de poids du ciment).

$80 \text{ kg/m}^3$  du (tuf ou marbre) comme substitution (20 % de poids du ciment).

$40 \text{ kg/m}^3$  comme addition +  $80 \text{ kg/m}^3$  comme substitution =  $120 \text{ kg/m}^3$  comme filler.

$320 \text{ kg/m}^3$  du ciment.

$$E/(C+F)=0,41$$

$$G/S=0,9.$$

**Détermination de la masse de chaque constituant :**

On a:

$$C=320 \text{ kg/m}^3.$$

$$F=120 \text{ kg/m}^3.$$

$$E/(C+F)=0,41 \text{ donc } E=0,41*(320+120)$$

$$E= 180,40 \text{ l/m}^3.$$

Volume de la pâte égale  $340 \text{ l/m}^3$ .

Volume de granulats égale  $660 \text{ l/m}^3$ .

$$G/S= 0,9$$

$$G+S= 660 \longrightarrow G= 660-S$$

$$S=660/1,9 \longrightarrow s= 347,37 \text{ l/m}^3.$$

$$G= 660-347,37 \longrightarrow G= 312,63 \text{ l/m}^3.$$

Le dosage en superplastifiant est 1,4% de la masse ciment et filler.

$$SP=0,014*(320+120).$$

$$SP=6,16 \text{ kg/m}^3.$$

L'extrait sec du superplastifiant (polycarboxylate) est de 30%.

Donc la quantité d'eau provient de superplastifiant est de  $0,7 * 6,16 = 4,312$

D'où la quantité d'eau utilisée pour  $1 \text{ m}^3$  est de  $176,12 \text{ l/m}^3$ .

On utilise les masses spécifiques des granulats pour déterminer leurs dosages en Kg.

- Sable (0/4) =  $940 \text{ kg}$ .

- Gravier 3/8 représente 60% =  $506 \text{ kg}$ .

- Gravier 8/15 représente 40% =  $337 \text{ kg}$ .

**B. Formulation des bétons autplaçants à base d'ajout de tuf :**

-Le dosage du ciment est  $415 \text{ kg/m}^3$

-Le volume de la pâte pour  $1 \text{ m}^3$  du BAP égale à  $385 \text{ l/m}^3$ .

- $41.5 \text{ kg/m}^3$  du tuf comme addition (10 % de poids du ciment).
- $83 \text{ kg/m}^3$  du tuf comme substitution (20 % de poids du ciment).
- $41.5 \text{ kg/m}^3$  comme addition +  $83 \text{ kg/m}^3$  comme substitution =  $124.5 \text{ kg/m}^3$  comme filler.
- Ciment  $332 \text{ kg/m}^3$
- $E/(C+F)=0,49$
- $G/S=0,9$

### Détermination de la masse de chaque constituant :

On a:

$$C=332 \text{ kg/m}^3.$$

$$F=120 \text{ kg/m}^3.$$

$$E/(C+F)=0,49 \text{ donc } E=0,49*(332+124.5)$$

$$E= 223.68 \text{ l/m}^3.$$

Volume de la pâte égale  $385 \text{ l/m}^3$ .

Volume de granulats égale  $615 \text{ l/m}^3$ .

$$G/S= 0,9$$

$$G+S= 615 \longrightarrow G= 615-S$$

$$S=615/1,9 \longrightarrow S= 323.68 \text{ l/m}^3.$$

$$G= 615-323,68 \longrightarrow G= 291.31 \text{ l/m}^3.$$

Le dosage en superplastifiant est 1,4% de la masse ciment et filler.

$$SP=0,014*(332+124.5).$$

$$SP=6,4 \text{ kg/m}^3.$$

L'extrait sec du superplastifiant (polycarboxylate) est de 30%.

Donc la quantité d'eau provient de superplastifiant est de  $0,7 * 6,4= 4.47$

D'où la quantité d'eau utilisée pour  $1 \text{ m}^3$  est de  $219.21 \text{ l/m}^3$ .

On utilise les masses spécifiques des granulats pour déterminer leurs dosages en Kg.

- Sable (0/4) =  $873 \text{ kg}$ .
- Gravier 3/8 représente 60% =  $472 \text{ kg}$ .
- Gravier 8/15 représente 40% =  $314 \text{ kg}$ .

### C. Formulation des bétons autplaçants fibrés

La même formulation du BAP témoin (sans fibre) a été retenue pour les deux types de BAP (à base d'ajout de marbre et à base d'ajout de tuf).

Le paramètre d'optimisation de BAP fibré est le dosage de fibre.

On a choisis une variation de fibre de 0.2%-0.3%-0.4%-0.5% par rapport au volume du béton.

Les abréviations suivantes sont utilisées.

BAPMT : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre témoin (sans fibre).

BAPFM1 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.2% de fibre métallique.

BAPFM2 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.3% de fibre métallique.

BAPFM3 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.4% de fibre métallique

BAPFM4 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.5% de fibre métallique.

BAPTT : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre témoin (sans fibre).

BAPFT1 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.2% de fibre métallique.

BAPFT2 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.3% de fibre métallique

BAPFT3 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.4% de fibre

BAPFT4 : béton autoplaçant à base d'ajout de marbre avec 0.5% de fibre métallique

Les compositions des différents bétons à base d'ajout de marbre et tuf sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau 3.1.** Compositions de béton à base d'ajout de marbre pour 1m<sup>3</sup>

	<b>BAPMT</b>	<b>BAPFM1</b>	<b>BAPFM2</b>	<b>BAPFM3</b>	<b>BAPFM4</b>
<b>ciment.</b>	320	320	320	320	320
<b>addition</b>	40	40	40	40	40
<b>substitution</b>	80	80	80	80	80
<b>superplastifiant</b>	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16
<b>Eau</b>	176.12	176.12	176.12	176.12	176.12
<b>Sable (0/4)</b>	940	940	940	940	940
<b>Gravier 3/8</b>	506	506	506	506	506
<b>Gravier 8/15</b>	337	337	337	337	337
<b>Masse de fibres</b>	0	15.6	23.4	31.2	39

**Tableau 3.2.** Compositions de béton à base d'ajout de tuf pour 1m<sup>3</sup>

	<b>BAPTT</b>	<b>BAPFT1</b>	<b>BAPFT2</b>	<b>BAPFT3</b>	<b>BAPFT4</b>
<b>ciment.</b>	332	332	332	332	332
<b>addition</b>	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
<b>substitution</b>	83	83	83	83	83
<b>superplastifiant</b>	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
<b>Eau</b>	219.21	219.21	219.21	219.21	219.21
<b>Sable (0/4)</b>	873	873	873	873	873
<b>Gravier 3/8</b>	472	472	472	472	472
<b>Gravier 8/15</b>	314	314	314	314	314
<b>Masse de fibres</b>	0	15.6	23.4	31.2	39

### 3.2. Préparation de la gâchée

La préparation du béton autoplaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie. Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé. Dans notre cas elle est de 1/20 ème du m<sup>3</sup>. Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cylindrique /prismatique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, poudre de tuf, poudre de marbre) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 30sec.
- Ajouter les fibres et malaxage pendant 60s
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).

- Ajouter la trois quart d'eau graduellement.
- La durée effective totale de malaxage est 5mn.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton autoplaçant .(1)



**Fig 3.1.** Malaxage de béton autoplaçant



**Fig 3.2.** Moules de béton autoplaçant

### 3.3. Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage, pour un béton ordinaire ou pour un BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h. Une fois démoulées, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.



**Fig 3.3.** Conservation des éprouvettes

### 3.4. Caractérisation expérimentale des bétons et bétons fibrés.

#### 3.4.1. Caractérisation à l'état frais.

La plupart des formulations des bétons fluides sont conçues actuellement de manière empirique et cependant on doit concilier deux caractéristiques a priori contradictoires la fluidité et la ségrégation. Par conséquent ces bétons doivent satisfaire plusieurs tests qui sont recommandés par l'AFGC [30], qui permettent de caractériser les principales propriétés du béton à l'état frais : l'étalement au cône d'Abrams, l'écoulement à la boîte en L, la stabilité au tamis. Le gâchage des bétons et les essais de caractérisation ont été effectués selon les procédures décrites par l'AFGC dont les valeurs limites sont données dans le tableau 3.3.

**Tableau 3.3.** Valeurs préconisées pour les essais [30]

Essais	étalement	Stabilité au tamis	L-Box (H2/H1)
Valeurs limites	60 à 75 cm	$\leq 15\%$	$> 0,8$

La capacité de remplissage et la stabilité du béton autoplaçant à l'état frais peuvent être définies par quatre caractéristiques principales. Chaque caractéristique peut être déterminée par une ou plusieurs méthodes d'essai :

Caractéristiques	Méthode d'essai (s)
Fluidité	<i>Etalement au cône d'Abrams</i>
Viscosité (évaluée par le taux d'écoulement)	<i>Temps <math>t_{500}</math> d'essai d'étalement ou Ecoulement en V-Funnel</i>
Capacité de remplissage	<i>Boite en L</i>
Ségrégation statique	<i>Stabilité au tamis</i>

Les essais effectués sur les différentes compositions des BAP et BAP fibrés pour caractériser leurs performances rhéologies sont :

- L'étalement au cône d'Abrams. Le temps de l'étalement a 500mm.
- L'essai de la boîte en L.
- La stabilité au tamis.
- La masse volumique.

**\* Essais au cône d'Abrams :**

L'essai d'étalement est traditionnellement utilisé pour mesurer l'affaissement d'un béton et ainsi définir son caractère plus ou moins plastique (norme NF EN 206). L'affaissement des bétons autoplaçants étant total, c'est une mesure du diamètre de la galette obtenue après

l'étalement réalisé. Cette mesure permet de déterminer la capacité du matériau à s'écouler en milieu non confiné et sans obstacle. Il est basé sur l'essai d'affaissement décrit dans la norme EN 12350-2.

Cet essai est simple à réaliser et ne demande qu'une faible quantité de matériaux. Il peut donc être utilisé aussi bien en laboratoire que sur site.

L'étalement de béton autoplaçant décrit la fluidité à l'état frais de mélange dans des conditions non confinées. Les observations visuelles pendant l'essai et / ou la mesure du temps t500 peuvent donner des informations supplémentaires sur la résistance à la ségrégation et l'uniformité de chaque formulation (fig3.4)



**Fig 3.4.**Essai de cône d'Abrams

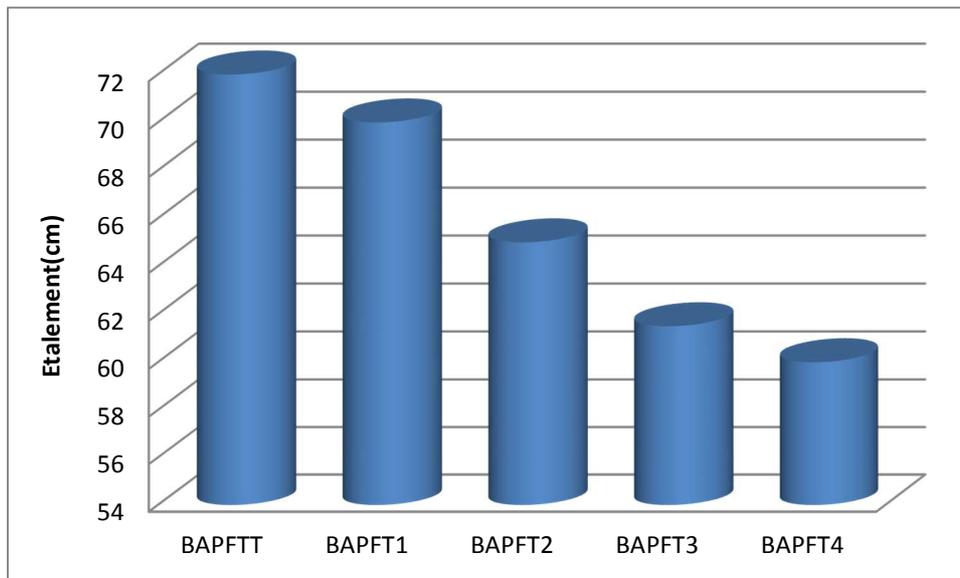
Les résultats obtenus par cet essai sur les différents bétons sont présentés dans les tableaux suivant :

**Tableau 3.4.** Résultats de l'essai au cône d'Abrams et les temps de T500 pour les BAP à base d'ajout de marbre

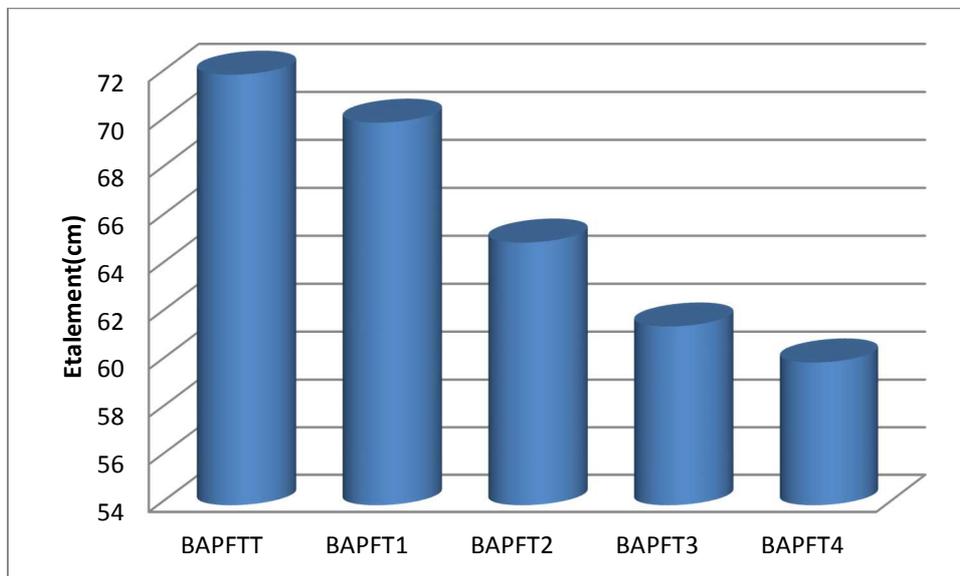
Béton	Etalement (cm)	T500(s)	Photo
BAPMT	71	2.36	
BAPFM1	70.25	2.83	
BAPFM2	69	3.05	
BAPFM3	67	3.61	
BAPFM4	65.5	3.93	

**Tableau 3.5.** Résultats de l'essai au cône d'Abrams et les temps de T500 pour les BAP à base d'ajout de tuf

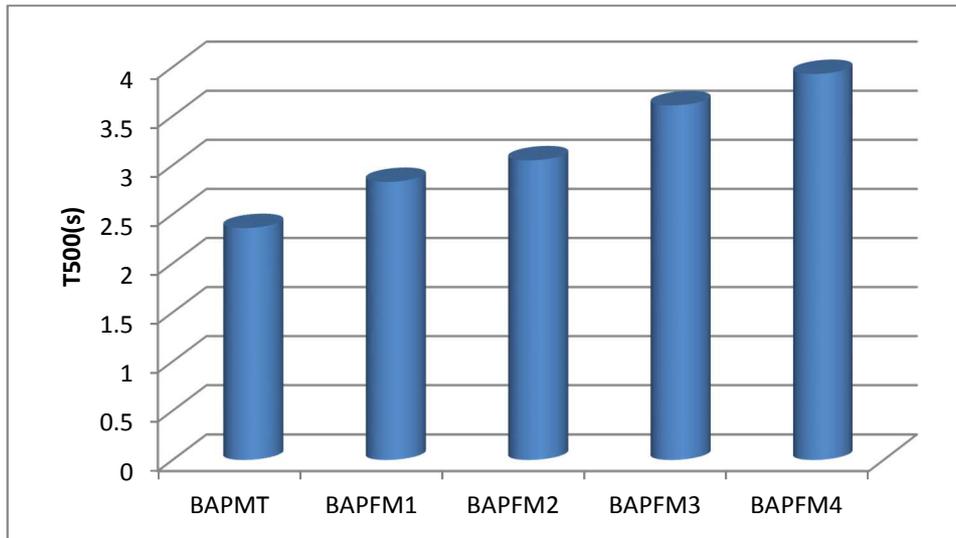
Béton	Étalement (cm)	T500(s)	Photo
BAPTT	72	3.05	
BAPFT1	71	3.34	
BAPFT2	65	3.86	
BAPFT3	61.5	4.08	
BAPFT4	60	4.31	



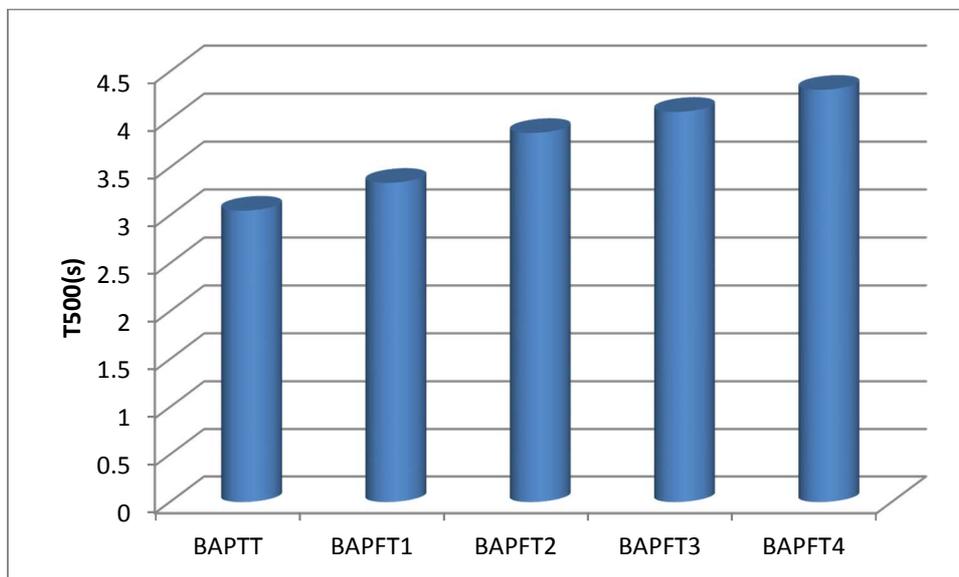
**Fig 3.5** . Valeurs d'étalements pour les différents BAP à base d'ajout de marbre.



**Fig 3.6** . Valeurs d'étalements pour les différents BAP à base d'ajout de tuf.



**Fig 3.7.** Valeurs des temps (T500) pour les différents BAP à base d'ajout de marbre.



**Fig 3.8.** Valeurs des temps (T500) pour les différents BAP à base d'ajout de tuf.

- **Essai de la boîte en L**

Différents essais sont disponibles pour mettre en évidence la capacité d'un BAP à s'écouler à travers un ferrailage plus ou moins dense. Dans notre laboratoire, on a utilisé l'essai à la boîte en L.

L'essai de la boîte en L (Fig4.6.) est effectué pour le béton autoplaçant seulement. Il permet d'évaluer le risque de blocage et la capacité de remplissage du béton en milieu confiné.

La partie verticale de la boîte est remplie de béton, après soulèvement de la trappe en acier, on mesure le taux de remplissage qui est défini comme étant le rapport des hauteurs de béton dans les parties verticales. Pour un BAP,  $H1/H2$  doit être supérieur à 0,8.

Il existe deux variantes : le test avec deux barres et le test avec trois barres. L'essai à trois barres simule un plus fort pourcentage d'armatures.



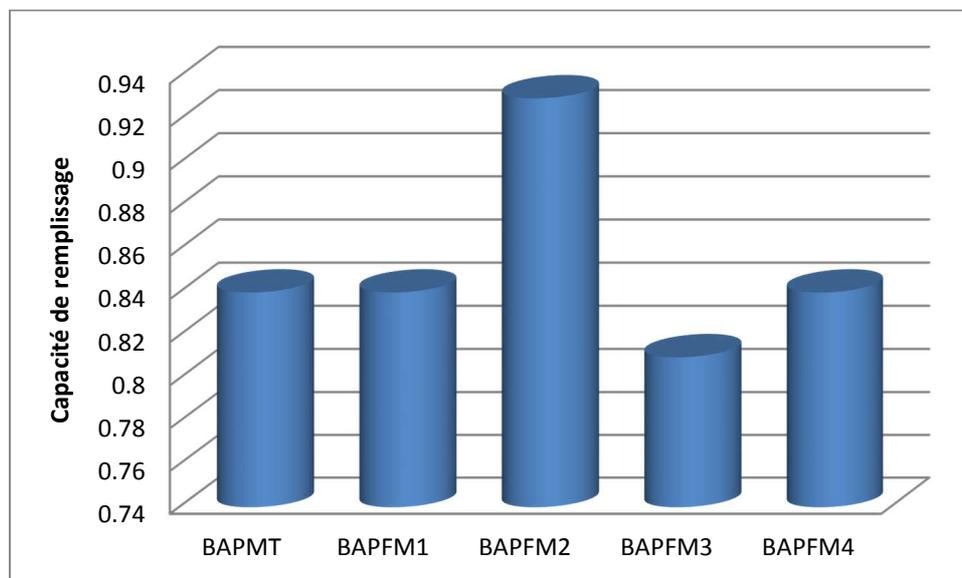
**Fig 3.9.** Essais de la boîte en L

**Tableau 3.6.** Résultats de l'essai de la boîte en L pour les différents BAP à base d'ajout de marbre.

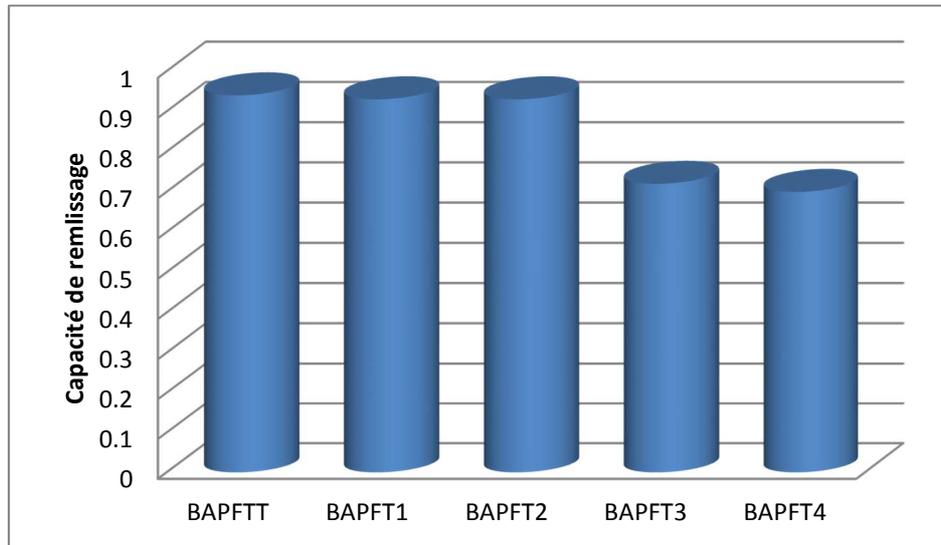
<b>Béton</b>	<b>BAPMT</b>	<b>BAPFM1</b>	<b>BAPFM2</b>	<b>BAPFM3</b>	<b>BAPFM4</b>
<b>Capacité de remplissage (H1/H2)</b>	0.84	0.84	0.93	0.81	0.84

**Tableau 3.7.** Résultats de l'essai de la boîte en L pour les différents BAP à base d'ajout de tuf.

Béton	BAPTT	BAPFT1	BAPFT2	BAPFT3	BAPFT4
Capacité de remplissage (H1/H2)	0.94	0.93	0.93	0.72	0.70



**Fig 3.10.** Variation de la capacité de remplissage pour les différents BAP à base d'ajout de marbre.



**Fig 3.11.** Variation la capacité de remplissage pour les différents BAP à base d'ajout de tuf.

- **Essai de stabilité au tamis**

Lors de l'essai d'étalement, une observation visuelle peut nous renseigner sur la stabilité du béton (absence de la ségrégation et du ressuage). Mais l'essai le plus approprié pour la mesure de la stabilité est l'essai de stabilité au tamis (fig4.9). L'objectif de cet essai est d'évaluer les bétons autoplacants vis-à-vis les risques de ségrégation et du ressuage en calculant le poids de la laitance passée au tamis par la formule donnée ci-après.

$$P_{\text{laitance}} \% = \frac{\text{poids de laitance passée (kg)}}{4,8 \pm 0,2} \times 100$$

Le calcul du pourcentage de laitance par rapport au poids de l'échantillon conduit à classer le béton autoplacant de la façon suivante :

- 0% P laitance (%) 15% ..... Stabilité satisfaisante.
- 15% < P laitance < 30% ..... Stabilité critique.
- P laitance (%) > 30% ..... Stabilité très mauvaise (béton inutilisable).

Cet essai a été effectué sur les 10 BAP étudiés. Le tableau (4.4.) Présente les résultats obtenus.



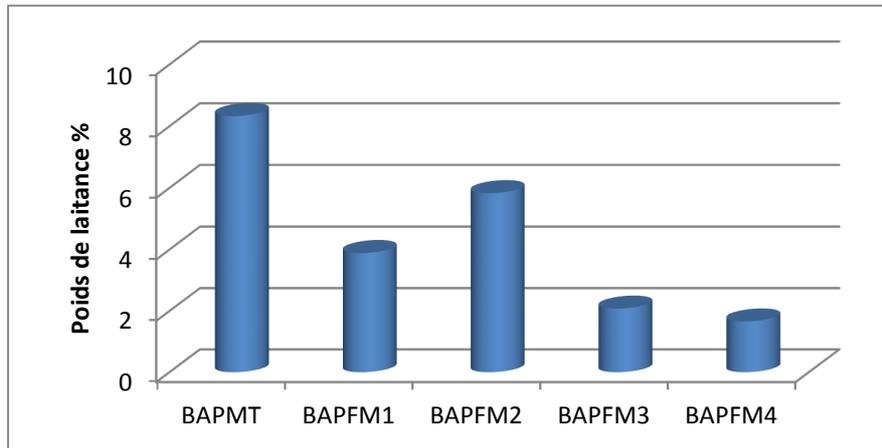
**Fig 3.12.** Essai de stabilité au tamis

**Tableau 3.8.** Résultats de l'essai de la stabilité au tamis pour les BAP à base d'ajout de marbre.

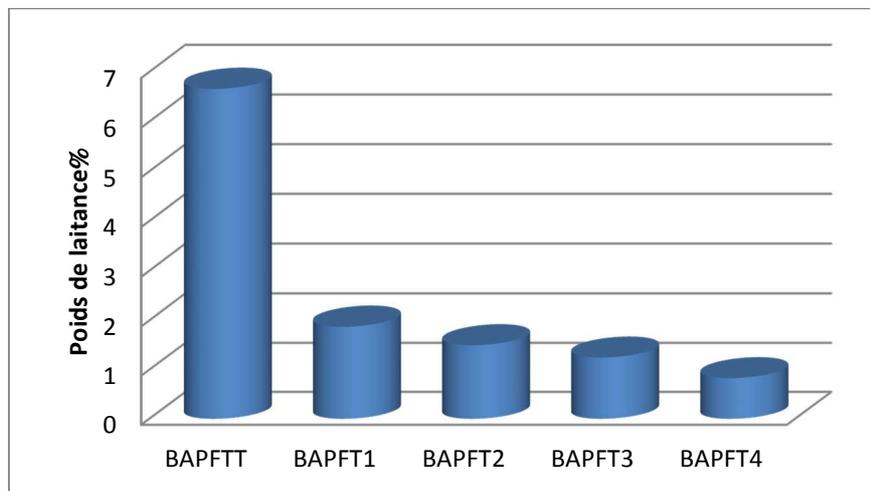
<b>Béton</b>	<b>BAPMT</b>	<b>BAPFM1</b>	<b>BAPFM2</b>	<b>BAPFM3</b>	<b>BAPFM4</b>
<b>Poids de laitance %</b>	8.33	3.89	5.83	2.08	1.66

**Tableau 3.9.** Résultats de l'essai de la stabilité au tamis pour les BAP à base d'ajout de tuf.

<b>Béton</b>	<b>BAPTT</b>	<b>BAPFT1</b>	<b>BAPFT2</b>	<b>BAPFT3</b>	<b>BAPF4</b>
<b>Poids de laitance %</b>	6.66	1.87	1.5	1.25	0.83



**Fig 3.13.** Variation de la stabilité au tamis pour les différents BAP à base d'ajout de marbre



**Fig 3.14.** Variation de la stabilité au tamis pour les différents BAP à base d'ajout de marbre

- **La masse volumique**

Cette mesure détermine le rendement volumique de la composition du béton autoplaçant frais et permet de vérifier la validité de la formulation théorique. Pour effectuer cette mesure, nous utilisons un récipient de volume et de masse connus. Ce récipient est rempli entièrement de BAP et sa surface libre est ensuite arasée. Nous pesons alors le récipient plein. Le rapport entre la masse du BAP (masse du récipient plein à laquelle on soustrait la masse du récipient vide) sur le volume du récipient correspond à la masse volumique du BAP frais exprimée en  $\text{Kg/m}^3$ . la formule de la masse volumique à l'état frais :

$$M_v = M/V \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

avec :  $M = M_1 - M_0$

M1 : est la masse du récipient plein de béton ;

M0 : est la masse de récipient vide ;

V : le volume du récipient.



**Fig 3.15.** Essai de la masse volumique.

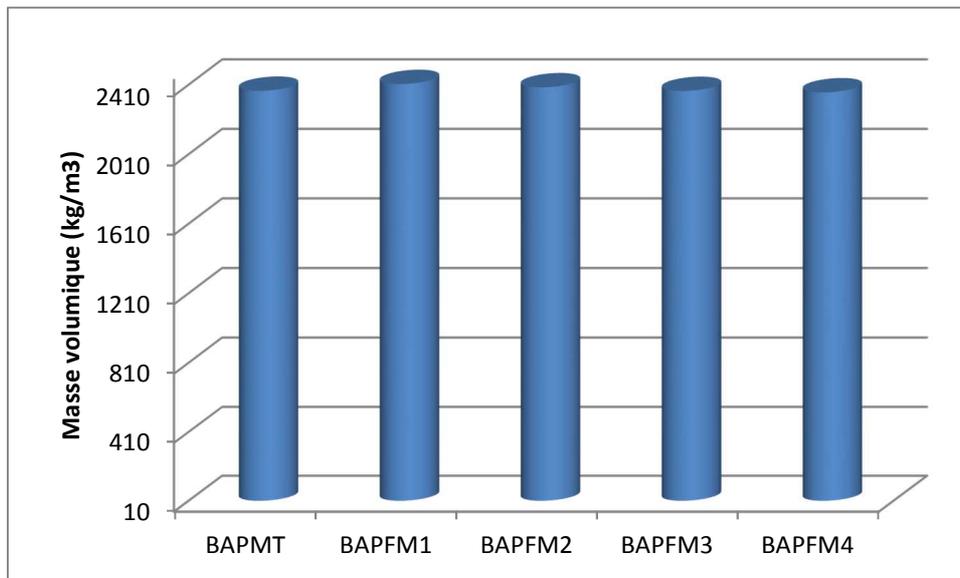
Les résultats sont inscrits dans le tableau suivant.

**Tableau 3.10.** Résultats de masse volumique à l'état frais pour les BAP à base d'ajout de marbre.

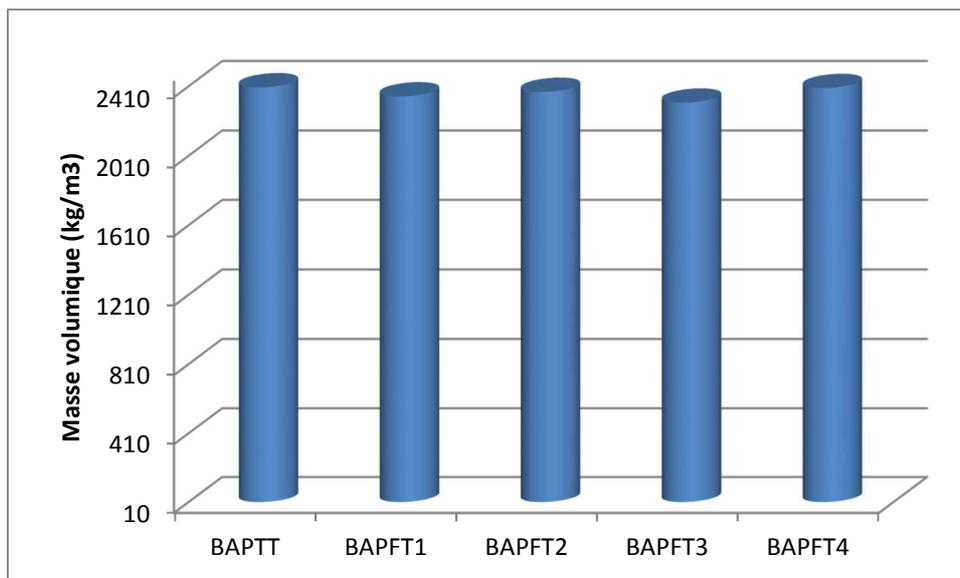
Béton	BAPMT	BAPFM1	BAPFM2	BAPFM3	BAPFM4
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	2375	2414	2395	2374	2366

**Tableau 3.11.** Résultats de masse volumique à l'état frais pour les BAP à base d'ajout de tuf.

Béton	BAPTT	BAPFT1	BAPFT2	BAPFT3	BAPFT4
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	2404	2352	2378	2316	2400



**Fig 3.16.** Variation de la masse volumique à l'état frais des différents BAP à base d'ajout de marbre.



**Fig 3.17.** Variation de la masse volumique à l'état frais des différents BAP à base d'ajout de tuf.

**Tableau 3.12.** Résultats des essais à l'état frais des BAP étudiés

	<b>Étalement (cm)</b>	<b>T500 (s)</b>	<b>Boîte en L H2/H1</b>	<b>Stabilité au tamis (%)</b>	<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>BAPMT</b>	71	2.36	0.84	8.33	2367.02
<b>BAPFM1</b>	70.25	2.83	0.84	3.89	2413.70
<b>BAPFM2</b>	69	3.05	0.93	5.83	2401.24
<b>BAPFM3</b>	67	3.61	0.81	2.08	2372.60
<b>BAPFM4</b>	65.5	3.93	0.84	1.66	2360.80
<b>BAPTT</b>	72	3.05	0.94	6.66	2405.78
<b>BAPFT1</b>	70	3.34	0.93	1.87	2343.70
<b>BAPFT2</b>	65	3.86	0.93	1.5	2379.47
<b>BAPFT3</b>	61.5	4.08	0.72	1.25	2326.60
<b>BAPFT4</b>	60	4.31	0.7	0.83	2386.72

**Analyse des résultats :****Influence des fibres sur l'étalement :**

- Les résultats présentés dans les figures (3.5) et (3.6) montrent que tous les bétons ont des valeurs d'étalement situées à l'intérieur du domaine des BAP.
- la figure (3.4) montre que les granulats grossiers et les fibres sont répartis uniformément et aucune concentration de ces derniers apparaitre au centre de la galette. La figure (3.4) illustre clairement l'absence de séparation des fines sur les bords de la galette.
- la figure (3.5) et (3.6), montrent une légère réduction des valeurs d'étalement des bétons fibrés pour les deux types de BAP (à base d'addition de marbre ou de tuf) par rapport au béton témoin (sans fibre).

- L'étalement des bétons autoplaçants fibrés à base d'ajout de tuf est plus affecté par le pourcentage des fibres par rapport aux bétons autoplaçants fibrés à base d'ajout de marbre. Cela est peut être expliqué par la nature de tuf qui est considéré comme étant un matériau actif, donc il absorbe beaucoup d'eau. Cette réduction de maniabilité est plus au moins importante pour le dosage élevé de fibres, dont lequel on a trouvé un étalement situé à proximité de l'intervalle exigé (à 0.4% de fibres, l'étalement égale à 60cm).
- L'influence des fibres métalliques sur l'écoulement des bétons est fonction de leur dosage. En revanche les particules fines de l'addition poudre de marbre et poudre de tuf remplissent les vides disponibles entre les particules du mortier, augmentant ainsi la compacité du mélange en améliorant l'arrangement total des particules dans la matrice [Yahia, 2005] [31]. Par conséquent la quantité d'eau qui occupait les vides est libérée dans la solution interstitielle, ce qui se traduit par une meilleure fluidité. Cependant, au-delà d'un dosage critique en fibres, les frictions entre particules sont de plus en plus importantes.

#### **Influence des fibres sur le T500 :**

On peut clairement remarquer que le T500 est d'autant plus élevé que le dosage en fibres augmente. Pour le BAP à base d'ajout de tuf renforcé de 0,5% de fibres (BAPFT4), une augmentation du T500 d'environ 41 % est enregistrée par rapport au béton témoin. Les fibres se chevauchent et forment des zones de blocage et en conséquence un temps d'écoulement élevée.

#### **Essai de la stabilité au tamis :**

- Les résultats obtenus par l'essai de stabilité au tamis, marquent une amélioration de la stabilité avec l'incorporation des fibres métalliques. La bonne adhérence entre la pâte et les fibres explique ce comportement avantageux.
- Aucun des BAP étudié ne présente un risque de ségrégation statique. En effet la quantité de laitance est située à l'intérieur du domaine exigé (figure 3.12). Pour les BAP étudiés on a relevé une laitance  $P < 15\%$ .
- Pour les BAP fibrés à base d'ajout de tuf on a relevé une laitance  $P < 5\%$  pour tous les mélanges. Donc cette résistance à la ségrégation est dite « trop importante ». Le BAP fibré est trop visqueux pour s'écouler à travers le tamis.

- Pour les BAP fibrés à base d'ajout de tuf la laitance diminue lorsque la quantité de fibres augmente ce qui explique le rôle avantageux de tuf dans l'amélioration de la résistance des BAP fibrés à la ségrégation.
- Il apparaît clairement d'après les résultats obtenus sur l'essai de "stabilité au tamis" que la grande valeur enregistrée, est au niveau de la composition du BAP témoin et elle diminue avec l'incorporation des fibres.

#### **Essai de la boîte en L :**

- Les résultats obtenus par l'essai boîte en L sont présentés sur Les figures (3.10) et (3.11). Tous les mélanges donnent des taux de remplissage qui s'inscrivent dans le domaine des BAP, excepté le BAPFT3 et BAPFT4 qui donnent des valeur de 0,72 et 0.70, alors qu'elles doivent être supérieure ou égale à 0,8 [AFGC, 2008].Le dosage des fibres a rendu difficile l'écoulement et a entraîné, un blocage du béton au niveau des barres d'armatures de la boîte .
- On peut noter aussi que le taux de remplissage diminue en fonction d'augmentation de dosage des fibres. Cette diminution est plus affectée pour les BAP fibrés à base d'ajout de tuf.

#### **Influence des fibres sur la masse volumique :**

Les valeurs des masses volumiques pour toutes les mélanges soit à base d'ajout de marbre ou de tuf n'ont pas été affectés par les fibres donc restent pratiquement les mêmes. fg.3.16 et 3.17.

### **3.4.2. Caractérisation à l'état durci.**

#### **3.4.2.1. Introduction**

Pour décrire et caractériser le mode de comportement mécanique des bétons et bétons fibrés, les différentes éprouvettes réalisées ont été soumises aux différents essais mécaniques et en particulier les essais de traction par flexion et de compression centrée.

Les essais ont été menés au niveau du laboratoire Elaboration et Caractérisation des Matériaux et Modélisation « LEC2M » de tizi-ouzou et au niveau du Laboratoire Nationale de l'Habitat et Construction (LNHC) de Oued –Smar.

#### **3.4.2.2. Essai de résistance à la traction par flexion. [NF P18-407**

L'essai est mené en traction par flexion conformément à la norme NF P18.407. Les corps d'épreuves sont de formes prismatiques de dimensions géométriques de 7\*7\*28 cm.

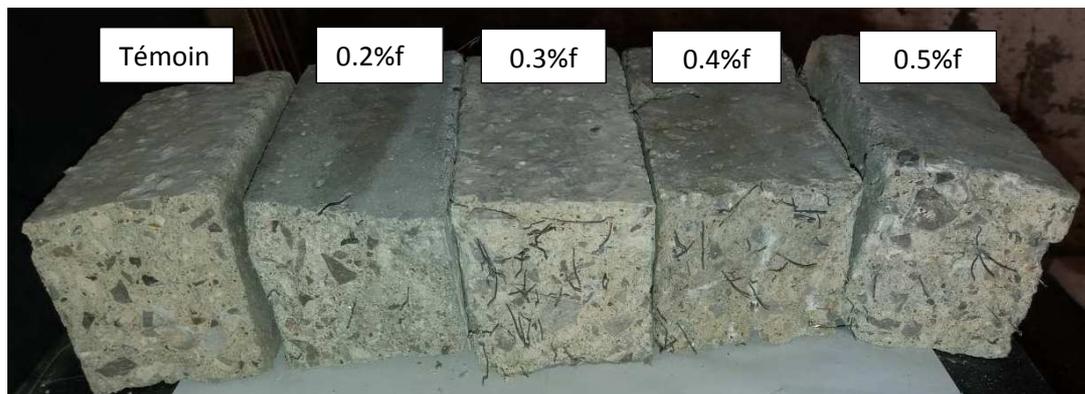
La vue du dispositif d'essai est donnée à la figure (3.18).La charge est appliquée progressivement à la vitesse de chargement contrôlée et ce, jusqu'à la rupture.



**Figure 3.18.** Machine d'essai de flexion

En général, la rupture a lieu dès qu'apparaît la fissure magistrale parallèle à l'effort appliqué, au bas de la zone médiane de la poutre, qui se propage vers le haut. Pour chaque type de béton, la résistance à la traction par flexion est enregistrée.

- Concernant la structure, on observe une répartition des fibres non homogène pour les bétons à bases d'ajout de marbre fig (3.19-a), et plus ou moins homogène pour celles à base d'ajout de tuf fig (3.19-b).



**Fig (3.19-a).** Répartition des fibres dans les bétons à base d'ajout de marbre



**Fig (3.19-b).**Répartition des fibres dans les bétons à base d'ajout de tuf

### 3.4.2.3. Essai de résistance à la compression. [NF P18-406]

Les corps d'épreuves sont des cylindres dimensions standard ( $\Phi$  16, h 32 cm). Ils sont soumis à l'essai, 28 jours après le coulage. Les faces extrêmes de l'éprouvette doivent être rectifiées par abrasion ou par coulage d'une couche de soufre liquide (NF P18-416) pour éviter toute excentricité des charges appliquées figure (3.20).



**Figure 3.20.** Bâti de compression

L'effort vertical est appliqué progressivement à une vitesse de chargement contrôlée et ce, jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette.

Le mode d'essai et rupture des éprouvettes sont illustrés dans la fig(3.21).



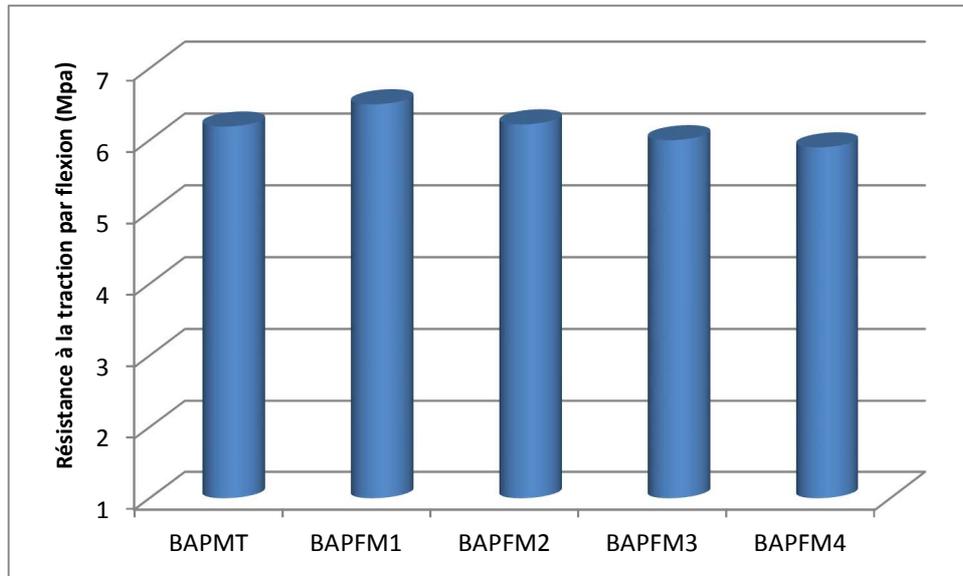
Figure 3.21. Mode d'essai et rupture de l'éprouvette

#### 3.4.2.4. Résultats des essais

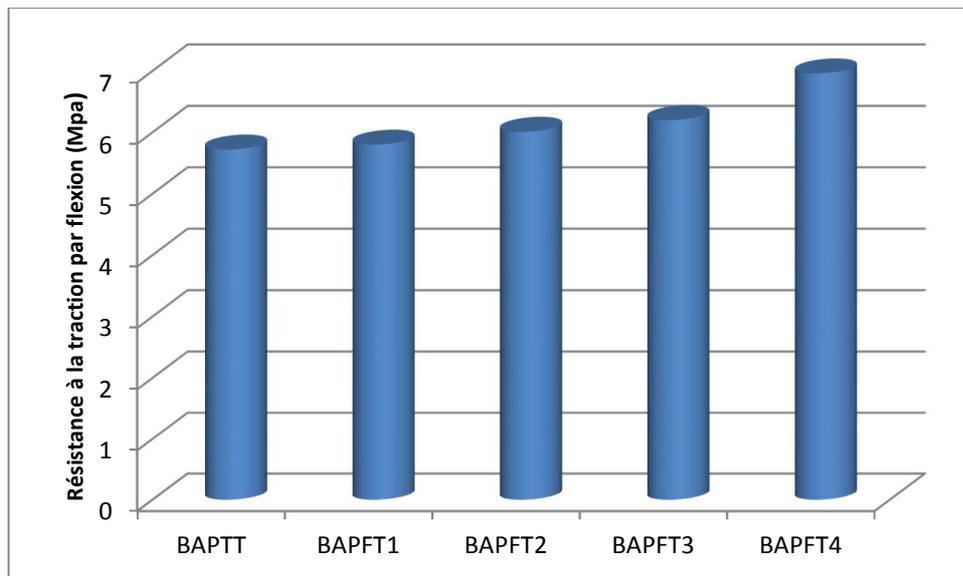
Les différents résultats des résistances obtenus lors de l'essai de traction par flexion (RT), et en compression (RC), sont donnés dans le tableau (3.13) et sont illustrés dans les figures (3.22-3.23-3.24-3.25)

Tab 3.13. Résultats des propriétés mécaniques des BAP et BAPF

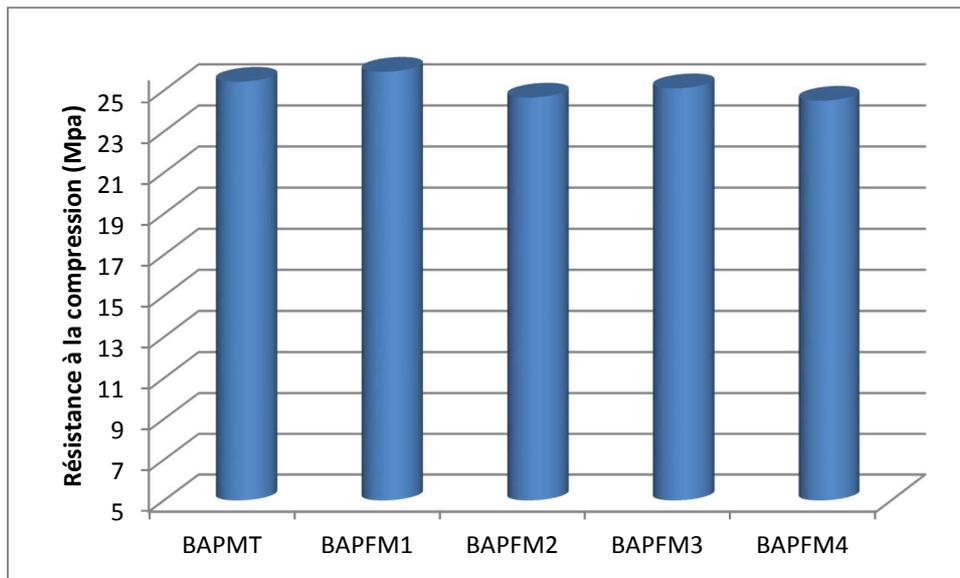
	Rf(MPa)	RC(MPa)
BAPMT	6.2	25
BAPFM1	6.5	26
BAPFM2	6.2	25
BAPFM3	6	25
BAPFM4	5.9	24.5
BAPTT	5.7	22
BAPFT1	5.8	24
BAPFT2	6	24
BAPFT3	6.2	25
BAPFT4	6.9	26



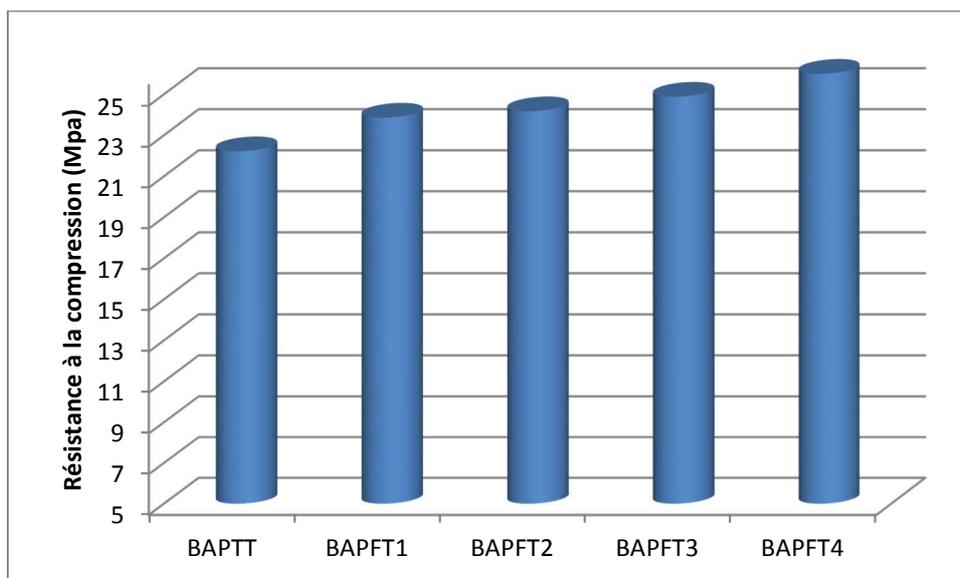
**Fig 3.22.** Variation de résistance à la traction par flexion en fonction de pourcentage des fibres



**Fig 3.23.** Variation de résistance à la traction par flexion en fonction de pourcentage des fibres



**Fig 3.24.** Variation de résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres



**Fig 3.25.** Variation de résistance à la compression en fonction de pourcentage des fibres

### 3.4.2.5. Mode de rupture par flexion selon la composition

Il faut noter que ce n'est pas seulement l'augmentation de la résistance à la flexion qui est visée, mais également le comportement ductile qui rend rentable l'utilisation d'un béton fibré. En se basant sur les figures suivantes, on peut conclure que l'augmentation du dosage en fibres améliore la ductilité.

#### a. Cas du béton témoin BAPMT et BAPTT

La rupture du béton témoin est fragile, lorsque la limite de résistance est atteinte, on observe une rupture brutale, ceci est expliqué par la faible résistance du béton seul aux efforts de traction développés dans la zone tendue de l'élément fléchi. Cette rupture est illustrée dans la figure( 3.26).



**Fig 3.26.**Rupture du béton témoin (Rupture fragile à mi-portée)

Pour les bétons non fibrés; l'éprouvette se rompt avec une fissure initiée au niveau de la fibre inférieure. La fissure se propage verticalement vers le haut, divisant le spécimen en deux parties .figures (3.27.a) et(3.27.b).



**Fig3.27.a.**rupture du béton témoin BAPTT



**Fig3.27.b.**rupture du béton témoin BAPMT

**b. Cas des BAP fibrés de 0.2%-0.3%-0.4% de fibres**

Le mode de rupture observé sur les éprouvettes en béton fibrés de **0.2%-0.3%-0.4%** de fibres par rapport au volume de la matrice béton, présente une amélioration sensible concernant l'amorce des microfissures, Figures (3.28.a) et (3.28.b). Ceci est expliqué par la présence des fibres dont le rôle est de coudre les microfissures et de gêner le développement rapide de l'ouverture de la fissure magistrale.

Sous l'effet d'une redistribution de contraintes de traction dans la zone de flexion, la fissure principale est accompagnée par d'autres fissures indépendantes d'ouvertures assez importantes ou de petites fissures secondaires issues de la fissure principale.



**Fig.3.28.a.**Mode de rupture ductile pour BAPFM1- BAPFM2- BAPFM3.



**Fig.3.28.b.**Mode de rupture ductile pour BAPFT1- BAPFT2- BAPFT3.

### C. Cas des BAP fibrés de 0.5% de fibres

Pour les éprouvettes en béton fibré de 0.5% de fibres par rapport au volume de la matrice béton, on observe d'une part, une rupture plus ductile par présence d'une fissure magistrale d'épaisseur moindre au niveau des appuis et d'autre part une densification des microfissures sur tout le faciès normal de l'élément fléchi. Ceci est expliqué par la forte teneur du renfort dans la matrice béton. Figure (3.29).



**Figure 3.29.** Densification des fissures et rupture ductile

#### 3.4.2.6. Analyse des résultats

##### A. Analyse des résultats de flexion :

###### ➤ Cas des BAP à base d'ajout de marbre.

La figure (3.22).montre la variation de la résistance à la flexion en fonction de dosage de fibres. On constate avec un dosage en fibres métalliques qui respecte les caractéristiques rhéologiques d'un BAP, la résistance en flexion n'été pas influencé. Cela a été mis en évidence par BENAICHA Mouhcine [36].Ce constat peut être dû à :

- Une mauvaise adhérence pate-fibres
- La distribution des fibres dans la matrice béton n'été pas homogène.
- Pour que les fibres seront significative de point de vue résistance ;il faut que la longueur de La fibre doit être deux à trois fois plus grande que le diamètre de plus grand granulat [32].
- L'insuffisance de la pâte qui a empêché aux fibres d'avoir l'enrobage nécessaire à fin d'assurer un bon ancrage dans la matrice béton pour augmenter sa résistance à la flexion.

###### ➤ Cas des BAP à base d'ajout de Tuf.

L'introduction des fibres dans la composition d'un BAP permet une augmentation considérable de sa résistance à la traction par flexion. Sur la figure( 3.23), on remarque que

les résistances des bétons BAPFT1-BAPFT2-BAPFT3 ont augmenté respectivement de 1.4% et 5.06% et 8.39% suite à l'introduction de 0.2%-0.3%-0.4% de fibres dans leurs compositions. La composition optimale est celle avec ajout de fibres à 0.5% (BAPFT4), ce pourcentage augmente la résistance de 21.67% par rapport au béton témoin à 28 jours .ce qui améliore sensiblement la rigidité et confère une ductilité significative au BAPF par rapport au BAP témoin. Cela a été mis en évidence aussi par Balagura, Gru et Deeb [33-34-35].

Il est d'usage à relier cette valeur de résistance à l'utilisation de tuf qui est un ajout actif, donc il a bien réagit avec le ciment en créant un enrobage de fibre résistant par rapport à celui de marbre qui est inerte (pas de réaction avec le ciment).

### **B. Analyse des résultats de compression :**

#### **➤ Cas des BAP à base d'ajout de marbre.**

Le comportement en compression n'est pas influencé par la présence des fibres. Les fissures créées ne permettent pas aux fibres d'être sollicitées suffisamment pour améliorer significativement le comportement du béton fig(3.24). Le processus de rupture est montré sur la figure (3.21). La première étape correspond à l'apparition de la fissure résultant de la localisation des déformations. La matrice en béton est rompue mais le bloc est resté en un seul morceau grâce aux fibres qui le retiennent.

#### **➤ Cas des BAP à base d'ajout de tuf.**

L'introduction des fibres dans la composition d'un BAP permet une augmentation considérable de sa résistance à la compression. Sur la figure (3.25), on remarque que les résistances des bétons BAPFT1-BAPFT2-BAPFT3 ont augmenté respectivement de 7.38% et 8.77% et 11.97% suite à l'introduction de 0.2%-0.3%-0.4% de fibres dans leurs compositions. La composition optimale est celle avec ajout de fibres à 0.5% (BAPFT4), ce pourcentage augmente la résistance de 18.54% par rapport au béton témoin à 28 jours .ce qui améliore sensiblement la rigidité et confère une ductilité significative au BAPF par rapport au BAP témoin .Cela a été mis en évidence par BENAICHA Mouhcine [36].

Ce concours se traduit surtout par une élévation des frottements entre les lèvres des microfissures, frottements qui peuvent conduire à un gain apparent de résistance à la compression ainsi que la bonne adhérence entre matrice béton et les fibres.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

L'objectif principal de ce mémoire est la formulation et la caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants fibrés (BAPF) à base des ajoutes cimentaires tuf et marbre à l'état frais et à l'état durci.

A partir des résultats des essais expérimentaux que nous avons réalisés, nous avons pu dégager les conclusions suivantes :

À l'état frais, pour évaluer les propriétés rhéologiques des BAP, trois essais normalisés ont été réalisés, à savoir ; l'essai d'étalement, le test de la stabilité au tamis et la boîte en L. Sous la lumière des résultats de ces essais sur un ensemble de 10 compositions de BAP et BAPF, on peut conclure que :

- Toutes les compositions des bétons testés ont des valeurs d'étalement situées à l'intérieur du domaine des BAP (étalement > 60cm).
- Les fibres sont réparties uniformément sans aucune concentration de ces dernières au centre de la galette.
- La réduction des valeurs d'étalement des bétons fibrés est remarquable pour les deux types de BAP fibrés (à base d'addition de marbre ou de tuf) par rapport au béton témoin (sans fibre).
- L'étalement des bétons autoplaçants fibrés à base d'ajout de tuf est plus affecté par le pourcentage des fibres par rapport aux bétons autoplaçants fibrés à base d'ajout de marbre.
- L'influence des fibres métalliques sur l'écoulement des bétons est fonction de leur dosage. L'écoulement diminue avec l'augmentation de la teneur en fibres
- Toutes les compositions des BAP étudié ne présentent pas un risque de ségrégation statique. En effet la quantité de laitance est située à l'intérieur du domaine exigé. Pour les BAP fibrés à base d'ajout de tuf, la laitance diminue lorsque la quantité de fibres augmente ce qui explique le rôle avantageux de tuf dans l'amélioration de la résistance à la ségrégation dans le cas des BAP fibrés.
- Il apparait clairement d'après les résultats obtenus sur l'essai de "stabilité au tamis" que la grande valeur enregistrée, est au niveau de la composition du BAP témoin et elle diminue avec l'incorporation des fibres.
- Les résultats obtenus par l'essai « boîte en L » donnent des taux de remplissage qui s'inscrivent dans le domaine des BAP, excepté le BAP à base d'ajout de tuf et 0.4 de

fibre et BAP à base d'ajout de tuf et 0.5 de fibre qui donnent des valeurs de 0,72 et 0.70, alors qu'elles doivent être supérieures ou égales à 0,8 [AFGC, 2008].

À l'état durci :

- Pour les BAP fibrés à base d'ajout de marbre, nous avons constaté qu'avec un dosage en fibres métalliques respectant les caractéristiques rhéologiques d'un BAP, la résistance en flexion n'a été pas influencée.
- Pour les BAPF à base d'ajout de tuf, l'introduction des fibres dans la composition d'un BAP permet une augmentation considérable de sa résistance à la flexion.
- La résistance à la flexion d'un BAP à base d'ajout de tuf renforcé de 0.5% de fibre (BAPFT4) a augmenté de l'ordre de 21.67% par rapport au béton témoin à 28 jours.
- Le comportement en compression des BAPF à base d'ajout de marbre n'a été pas influencé par la présence des fibres.
- L'introduction des fibres dans la composition d'un BAP à base d'ajout de tuf permet une augmentation de sa résistance à la compression. Nous remarquons que les résistances des bétons BAPFT1-BAPFT2-BAPFT3 ont augmenté respectivement de 7.38% et 8.77% et 11.97% suite à l'introduction de 0.2%-0.3%-0.4% de fibres dans leurs compositions. La composition optimale est celle avec ajout de fibres de 0.5% (BAPFT4), ce pourcentage augmente la résistance de 18.54% par rapport au béton témoin à 28 jours.
- Il faut noter que ce n'est pas seulement l'augmentation de la résistance qui doit être visée, mais également le comportement ductile rentabilise l'utilisation d'un béton fibré. En se basant sur les observations visées à travers les éprouvettes écrasées, nous pouvons conclure que l'augmentation du dosage en fibres améliore la ductilité.

## **Perspectives**

A l'issue de ce travail, il apparaît que plusieurs études complémentaires peuvent être envisagées afin de valider et améliorer nos résultats. Pour cela nous suggérons :

- ✓ D'étudier d'autres paramètres qui influent sur les propriétés mécaniques des BAPF tel que la longueur des fibres.
- ✓ Utiliser de fibres hybrides (métallique et synthétique) à fin de combiner leurs performances.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]. DHONDE HB, YO MO, TCC HSU, VOGEL J, “Fresh and hardened properties of self-consolidating fiber reinforced concrete”, ACI Mater J, 104:491–500, 200
- [2] GROTH P, “ Fiber reinforced concrete - Fracture mechanics methods applied on self-compacting concrete and energetically modified binders”, PhD-thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, 2000.
- [3] PEIFFER G. « Les composites à matrice cimentaire renforcés de fibres FIBRAFLEX Documentation du Centre de Recherche de Pont à Mousson. 1991.
- [4] PEIFFER G. « Mechanical effectiveness ribbon-shaped fibers when used in fibers reinforced concrete ». Centre de Recherche de Pont à Mousson. 1991.
- [5] GRÜNEWALD S, “Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete “, these de doctorat, University Darmstadt, Allemagne.
- [6] ROSSI P, HARROUCHE N, “Mix design and mechanical behavior of some steel-fiber-reinforced concretes used in reinforced concrete structures”, Materials and Structures, Vol. 23, pp. 256-266, 1990.
- [7] CHEN L, MINDESS S, MORGAN D R., SHAH S P, JOHNSTON C D, PIGEON M. (1995) “Comparative Toughness Testing of Fiber Reinforced Concrete”, ACI, SP-155, Editors, STEVENS D J, BANTHIA N, GOPALARATHAM V S, TATNALL P C, Michigan, p 41-69.
- [8] KHAYAT K.H, ROUSSEL Y (Jul., 2000) “Testing and Performance of Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete”, Materials and Structures Journal, vol. 33, p. 391-397.
- [9] MUELLER T, and HOLSCHEMACHER, K., (Jun., 2009) “Self-compacting Steel Fibre Reinforced Concrete – A Study about the Influence of Fibre Content and Concrete Composition”, 2nd International RILEM Symposium on Design, Performance and Use of Self- Consolidating Concrete SCC’2009, China, Edition Shi, C.; Yu, Z.; Khayat, K.H.; and Yan, P. p. 152-161.
- [10] GAO J, SUN W, MORINO K. (1997) “Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced High-Strength, Lightweight Concrete”, Cement and Concrete Composites, vol. 19, n° 4, p. 307- 313.
- [11] YADEGARAN I, MAHOUTIAN M., SHEKARCHI M, LIBRE N A. (2007) “Effect of Polypropylene Fibers on Shrinkage of Self-Compacting Concrete”, 5th International

- RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium vol. 2, p. 707-713.
- [12] DREUX J, FESTA, J. (Mai, 2002) « Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants », 8° édition, Eyrolles, Paris, France.
- [13] SAHMARAN M, YURTSEVEN A, YAMAN I.-O. (Dec., 2005) “Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete”, Building and Environment Journal, vol. 40, n° 12, p. 1672–1677.
- [14] BANTHIA N, DUBEY A (2000a) “Measurement of Flexural Toughness of Fiber-Reinforced Concrete Using a Novel Technique”—Part 2: Performance of Various Composites, ACI Materials Journal, vol. 97, n° 1, p. 3-11.
- [15] ZHANG M H, CHEVRIER R L, MALHOTRA V M, MIRZA J (1997.) “ Use of High-Volume Fly Ash in Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Shotcrete Applications” CANMET - Durability of concrete, Proceedings 4th International Conference, MALHOTRA V. M., Sydney, Australia, p. 681-722.170
- [16] AHMAD S H, SHAH S.P (Nov, 1982) “Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement”, ACI Journal, vol. 79, n° 6, p. 484-490.
- [17] BALAGURU P N, SHAH S P (1992) “Fiber Reinforced Cement Composites”, McGraw-Hill, Inc., 530 p.
- [18] LUO X, SUN W, CHAN S Y N (Apr., 2001) “Steel Fiber Reinforced High-Performance Concrete: a Study on the Mechanical Properties and Resistance Against Impact”, Materials and Structures, vol. 34, n° 3, p. 144-149.
- [19] GRÜNEWALD S, WALRAVEN J C, “ Rheological study on the workability of fiber-reinforced mortar”, Second Int. Symposium on SCC, Edited by Ozawa and Ouchi, University of Tokyo, COMS Engineering Publication, pp. 127-136, 2001.
- [20] GRÜNEWALD S, WALRAVEN J C, “ Maximum content of steel fibers in self-compacting concrete”, Second Int. Symposium on SCC, Edited by Ozawa and Ouchi, University of Tokyo, COMS Engineering Publication, pp. 137-146, 2001.
- [21] GROTH P, “Steel Fiber Reinforced SCC, Final report of task 6”, Brite Euram project (BE 96-3801) - Rational production and improved working environment through using SCC, Doc. No.: RT6-v1.doc, 2000.
- [22] DING Y, LIU S, ZHANGY, THOMAS A, “The investigation on the workability of fiber cocktail reinforced self-compacting high performance concrete”. Construction and Building Materials. No.22 (2008) 1462-1470.

- [23] PETERSSON Ö, “Preliminary Mix Design - Final Report of Task 1”, Brite Euram project (BE 96-3801) - Rational production and improved working environment through using SCC, Document RT1\_v2.doc, 1998.
- [24] GROTH P, NEMEGEER D, “ The use of steel fibers in self-compacting concrete”, First Int, Symposium on SCC, Stockholm, Edited by Skarendahl and Petersson, RILEM publications PRO 7, Cachan, pp. 497-508, 1999.
- [25] TABET N. BENMOUNAH A. « Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico- mécanique des bétons autoplaçants fibres BAPF). Thèse Magister, Université de Boumerdès, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département génie des matériaux, 2012.
- [26] CHANVILLARD G, “ Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées ”, ancrées dans une matrice cimentaire. Etudes et Recherches des LPC, série Ouvrages d'art, OA12, 1993.
- [27] COTTERELL B, AI Y W, “Fracture Mechanics of Cementitious Materials”, Blackie Academic & Professional, London/Chapman and Hall, p. 294, 1996.
- [28] Benyahia.A, L'influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton, thèse de magister, centre universitaire Mohamed Boudiaf m'sila, 2001.
- [29] Yagoub.M, Evaluation de la qualité du béton de fibres in situ cas de béton autoplaçant avec des fibres mixtes, thèse de maîtrise, Université Mohamed Khider – Biskra ,2009.
- [30] AFGC. Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants. AFGC, Janvier 2008.
- [31] YAHIA A, TANIMURA M, SHIMOYAMA Y, “ Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and w/c ratio ”, Cement and Concrete Research, 35(3): 532–9, 2005.
- [32] Pierre Rossi-Les bétons de fibres métalliques-Presses de l'école nationale des ponts et chaussées .1998.
- [33] BALAGURU P, NAJM H, “High performance fiber reinforced concrete mixture proportions with high fiber volume fractions”, ACI Mater J, 101, 281–6, 2004.
- [34] GRUENEWALD S, WALRAVEN J. C, “Parameter study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete”, Cem Concr Res, 31, 1793– 8, 2001.

**[35]** DEEB R, GHANBARI A, KARIHALOO B.L, “Development of self-compacting high and

ultra-high performance concretes with and without steel fibers”, Cement and concrete composites, 34, 185-190, 2012.

**[36]** BENAICHA Mouhcine “Formulation des different bétons (BAP, BHP et BFUP) à haute teneur en additions minérales: Optimisation pour améliorer le coulage, la résistance au jeune âge et la durabilité des bétons” .Thèse de doctorat, université d’Aix-Marseille (France),Nov 2013.