

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil



Mémoire de fin d'étude

**En vue de l'obtention du diplôme du Master académique en génie civil
Option : structure**

Thème

**Comportement expérimentale en flexion des dalles
en béton renforcées par des fibres**

Proposé et dirigé par :

M^r. ATLAOUI Djamel

Devant le jury :

Mr. MERAKEB.SEDDIK

Mr. GHOUILEM.KAMEL

Présenté par :

BELKACEM Siham

CHERCHEM Nardjis

Examineur

Président

PROMOTION 2022/2023

Remerciements

Je tiens à exprimer, en premier lieu, ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué chacun à sa manière dans la réalisation de ce mémoire de fin d'études à savoir : mes enseignants, mes collègues, mes amis et ma famille.

*Que Mr **ATLAOUI Djamel**, mon promoteur trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour son encadrement, ses précieux conseils et sa disponibilité.*

Il m'a en plus apporté toute son aide en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail.

Que messieurs les membres du jury qui ont accepté de lire et de juger ce mémoire en soient remerciés.

*Un grand merci à mes **PARENTS** et à mon mari **HICHAM ZOUBIR** pour leur soutien.*

*Je remercie messieurs **HASSANI, BOUHRAOUA** pour avoir été disponibles et m'avoir secondée dans la réalisation des éprouvettes et la réalisation des essais.*

Enfin, je remercie ma famille et belle famille pour leur soutien moral, tout long de ce travail.

Dédicaces

A mes très chers parents pour leurs affection et leurs précieux conseils, qui veillent toujours à ma réussite voyez à travers ce travail.

A mon mari : HICHAM ZOUBIR

A ma sœur : INES

A mes frères : SAID, ISLAM

A ma tante : OUARDIA, son mari ALI et leur enfants : LAMIA,

KARIM, RACIM

A ma copine : SAMIRA, GHANIA

A ma belle-mère : KARIMA

A mes belles sœurs : FAIZA, IBETISSAM, MANEL

A tous mes autres proches et à mes amis qui sont très chers chacun le sait sans citer les noms

Et spécialement à vous qui vous êtes en train de lire ce travail en ce moment.

Dédicaces

*A mes très chers parents pour leurs affection et leurs précieux conseils,
qui veillent toujours à ma réussite voyez à travers ce travail.*

A mon mari : DJAMEL

A mes sœurs : HASSIBA, MANEL, NACIRA, ASSIA, ANIA

A mon frère : MHAND

*A tous mes autres proches et à mes amis qui sont très chers chacun le
sait sans citer les noms*

*Et spécialement à vous qui vous êtes en train de lire ce travail en ce
moment.*

Résumé

Ce travail porte sur l'étude expérimentale du comportement mécanique, par des essais de flexion « flexion3-points » sur des dalles renforcées par deux types de fibres, fibres métalliques (FM), ces fibres proviennent des déchets d'usinage des pièces en acier disposées aléatoirement dans le béton, ainsi que des fibres en polypropylène. Des essais de flexion sont réalisés sur des dalles dimensions [25x50x7] cm³. Des essais de compression sont réalisés sur des cylindres de diamètre Ø16 cm et de hauteur H32 cm. Les fibres sont caractérisées à la résistance mécanique et à l'arrachement. La composition du béton est déterminée par la méthode expérimentale dite « Dreux-Gorisse ». (05) teneurs en fibres métalliques (FM) sont retenues pour cette étude (W=0.2%, W=0.4%, W=0.6%, W=0.8% et W=1%) et un béton témoin BT (W=0%) avec W : teneurs en fibres dans le béton, de même composition que la matrice est élaborée pour servir de référence, et deux variantes des fibres de polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM). La confrontation et la comparaison des différents résultats obtenus montrent que les fibres métalliques (FM) confèrent une ductilité significative au matériau après fissuration du béton. Aussi, les fibres utilisées limitent les fissures en flexion et améliorent la résistance et la rigidité en flexion, mieux que les fibres en grilles polypropylènes.

Mots clés dalles en béton/ fibres métalliques/ flexion/ renforcement/ mode de rupture/ Fibres polypropylènes/ grilles/ expérimentation.

Abstract:

This work focuses on the experimental study of the mechanical behavior, by "3-point bending" bending tests on slabs reinforced by two types of fibers, metal fibers (FM), these fibers come from the machining waste of steel parts randomly arranged in the concrete, as well as polypropylene fibers. Bending tests are carried out on slabs measuring [25x50x7]cm³. Compression tests are carried out on cylinders with a diameter of Ø16 cm and a height of H32 cm. The fibers are characterized for mechanical resistance and tearing. The composition of the concrete is determined by the experimental method known as "Dreux-Gorisse". (05) metal fiber contents (FM) are retained for this study (W=0.2%, W=0.4%, W=0.6%, W=0.8% and W=1%) and a BT control concrete (W=0 %) with W: fiber content in the concrete, of the same composition as the matrix is developed to serve as a reference, and two variants of polypropylene fibers with small meshes (GPP/PM) and large meshes (GPP/GM). The confrontation and comparison of the different results obtained show that the metallic fibers (MF) confer significant ductility to the material after cracking of the concrete. Aussi, les fibres utilisées limitent les fissures en flexion et améliorent la résistance et la rigidité en flexion, mieux que les fibres en grilles polypropylènes.

Key words concrete slabs/ metal fibers/ bending/ reinforcement/ failure mode/ polypropylene fibers/ grids/ experimentation.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
-----------------------------------	----------

Première partie : Recherche bibliographique

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Technologie du béton armé fibre.....	3
I.1.2 Introduction	3
I.1.3 Définition du béton.....	3
I.1.4 Définition du béton de fibre	4
I.1.5 Historique	5
I.1.6 Rôle des fibres	6
I.2 Les fibres	8
I.2.1 Différents types de fibres.....	8
I.2.2 Fibres organiques	8
I.2.3 Fibres non organiques	9
I.3 Principe d'action des fibres	10
I.4 Action des fibres métalliques sur le béton à l'état frais.....	11
I.4.1 Comportement mécanique des bétons renforcés de fibres	12
I.4.2 Comportement mécanique de dalle en béton armé.....	14
I.5 Mise en œuvre du béton renforcé de fibres	15
I.5.1 Composition du béton de fibres.....	15
I.5.2 Formulation du béton de fibres	17
I.5.3 Domaine d'utilisation du béton renforcé de fibres.....	18
I.6 Propriétés physiques et mécaniques des bétons de fibres	19
I.6.1 Influence des fibres sur les principales caractéristiques du béton.....	19
I.6.1.1 Résistance à la comparaison.....	19
I.6.1.2 Résistance à la traction	20
I.6.1.3 Résistance à la flexion	20
I.6.1.4 Résistance à la traction par flexion.....	22
I.6.1.5 Résistance à la traction par fendage	25
I.6.1.6 Résistance au cisaillement.....	25
I.7 Conclusion.....	26

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre II : Etude de la composition du béton

II.1 Introduction	27
II.2 Composition du béton	27
II.2.1 Les liants	27
II.2.2 L'eau	28
II.2.3 Les granulats	28
II.2.4 Les sables	29
II.2.5 Les grave	30
II.2.6 Les adjuvants.....	31
II.3 Analyse granulométrique	31
II.3.1 principe de l'essai.....	32
II.3.2 Equipement utilisés	33
II.3.3 Description de l'essai	33
II.3.4 Module de finesse	35
II.4 Composition du béton par méthode Dreux –Gorisse	35
II.4.1 Résistance visée	36
II.4.2 Dosage en ciment et eau.....	36
II.5 Dosage des granulats.....	39
II.6 Masse volumique absolu et apparente.....	40

Chapitre III : caractérisation en traction directe des Fibres en copeaux

III.1 Introduction.....	41
III.2 Etude expérimentale	41
III.3 Géométrie de la fibre et système d'ancrage.....	41
III.4 Appareillage et essai	42
III.4.1 Présentation des résultats	42
III.5 Conclusion	45

Chapitre IV : Essais de comparaison

IV L'ESSAIS DE COMPRESSION.....	46
IV.1 But de l'essai	46
IV.2 Composition des éprouvettes.....	46
IV.3 Remplissage et vibration	47
IV.3.1 Eprouvettes cylindriques	47
IV.4 Principe de l'essai.....	4

IV.5 Essais de compression	48
IV.6 Résistance à la compression du béton	49

CHAPITRE V : Essais de flexion « flexion 3-points » sur des petites dalles renforcées de fibres métalliques et polypropylènes

V Essais de « flexion 3-points »	52
V.1 Premières séries d'essais.....	52
V.1.1 Géométrie et composition des dalles testées.....	52
V.1.2.1 Géométrie.....	52
V.1.3 Mise en œuvre de dalles renforcées par des fibres métalliques.....	52
V.1.4 Composition des éprouvettes	53
V.1.5 Appareillage et essais.....	53
V.1.6 Description des essais	54
V.1.7 Essais de « flexion 3-points »	54
V.1.8 Présentation des résultats et discussions	55
V.1.9 Résultats des essais « flexion 3-points ».....	55
V.2 Deuxième série d'essais en « flexion 3-points ».....	57
V.2.1 Géométrie et composition des éprouvettes	58
V.2.1.1 Géométrie des dalles	58
V.2.1.2 Mise en œuvre de dalles renforcées des grilles polypropylène.....	59
V.2.1.3 Description des éprouvettes.....	59
V.2.2 Présentation des résultats et discussions.....	60
VI. Conclusion générale	66
Références bibliographiques.....	86

LISTES DES FIGURES

Chapitre I : Recherche bibliographique

Figure I.1 Ciment, sable, gravier.....	3
Figure I.2 Le béton.....	4
Figure I.3 Le béton armé.....	5
Figure I.4 Illustration de l'apport du renfort par des fibres [8]	7
Figure I.5 Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibres.....	8
Figure .6 Processus de fissuration du béton	11
Figure I.7 Schéma de l'interaction des fibres avec le développement Des fissures dans un composite [15]	11
Figure I.8 Effet du rapport sable/gravier sur la maniabilité du béton renforcé par Des fibres [18].....	11
Figure I.9 Contribution des fibres dans le comportement à la traction [20]	12
Figure I.10 Schématisation de l'orientation des fibres métallique dans le béton [21].....	13
Figure I.11 Phases successives du comportement d'une dalle en flexion[22].....	15
Figure I.12 Encadrement d'un granulat	17
Figure I.13 Effets des fibres sur l'affaissement du béton au cône d'Abrams [27].....	21
Figure I.14 Courbe effort-flèche pour différentes compositions [34].....	22
Figure I.15 Courbe charge-flèche des essais de flexion sur des éprouvettes prismatiques.....	24
Figure I.16 Courbe charge-flèche en flexion simple pour les différents types de béton de fibres par rapport au béton témoin	24
Figure I.17 Courbes moment-flèche pour différents pieux en flexion composée [29]	25

Chapitre II : étude de la composition du béton

Figure II.1 CEM II / A-L 42.5 R.....	28
Figure II.2 sable 0.3mm	30
Figure II.3 Granulats utilisés.....	30
Figure II.4 super- plastifiant.....	31
Figure II.5 Tamiseuse	32
Figure II.6 Les courbes granulométriques pour chaque type de granulats	35
Figure II.7 Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)	40.

Chapitre III : Caractérisation en traction directe des Fibres en copeaux

Figure III.1 Vue des copeaux	41
Figure III.2 Système d'ancrage	41
Figure III.3 Vue du dispositif d'essai.....	42
Figure III.4 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 30\text{mm}$	42
Figure III.5. Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 50\text{mm}$	43
Figure III.6 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 70\text{mm}$	43
Figure III.7Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L=80\text{mm}$	44
Figure III.8 Superposition des courbes $\sigma = f(\epsilon)$ pour les quatre longueurs.....	44

Chapitre IV : Essais de comparaison

Figure IV.1 le mélange après l'ajout de l'eau	46
Figure IV.2 Vibration des éprouvettes	47
Figure IV.3 écrasement de l'éprouvette	48
Figure IV.4 Rupture de l'éprouvettes béton témoin sous sollicitation de compression	49
.....	49
Figure IV.5 Courbe moyenne contrainte – déformation d'essai 1	49
Figure IV.6 Courbe moyenne contrainte – déformation d'essai 2	50
Figure IV.7 Courbe moyenne contrainte – déformation d'essai 3	50
Figure IV.8 Superposition des Courbe moyenne contrainte – déformation	51

Chapitre V : Essais de flexion « flexion 3-points » sur des petites dalles renforcées de fibres métalliques et polypropylènes

Figure V.1dalles, fibres utilisées ainsi que le vibreur.....	52
Figure V.2 Vue du dispositif d'essais	54
Figure V.3 dimension des dalles	54
FigureV.4 Exemple d'essai flexion 3-points.....	55
Figure V.5 exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en Flexion 3-point.....	55
Figure V.6 Superposition des courbes Force-flèche pour les différents teneurs en fibres.....	56
Figure V.7 Types de grille utilisées	58
Figure V.8 Coffrage et grilles utilisées	59

Figure V.9 Coffrage et grilles utilisées	60
Figure V.10 Coffrage et grilles utilisées	60
Figure V.11 Mode de rupture du béton témoin BT.....	60
Figure V.12 Courbe Force-flèche pour les Béton témoin BT (sans fibres).....	61
Figure V.13 Mode de rupture de dalles (GPP/PM).....	61
Figure V.14 Courbe Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène (GPP/PM)	62
Figure V.15 Mode de rupture de dalles avec des (GPP/GM)	62
Figure V.16 Courbe Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en polypropylène (GPP/GM)	63
Figure V.17 Superposition des courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles polypropylène	63
Figure V.18 Superposition des meilleurs courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques	65

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Recherche bibliographique

Tableau I.1 : Caractéristiques des fibres couramment utilisées [11].....	10
Tableau I.2 Quelques applications de bétons renforcés de fibres [31].....	19
Tableau I.3 Comparaison de la flèche des B.A.F. à celle du béton armé, et du moment de rupture des bétons armés de fibres à celui du béton témoin [29]	24

Chapitre II : étude de la composition du béton

Tableau II.1 Analyse granulométrique du sable.....	34
Tableau II.2 Analyse granulométrique pour le gravier (3/8).....	34
Tableau II.3 Analyse granulométrique pour le gravier (8/15).....	34
Tableau II.4 valeurs approximatives du coefficient granulaire.....	36
Tableau II.5 Constituants du béton pour un volume de 1 m ³	39
Tableau II.6 Masse volumique apparente et absolue des granulats.....	40

Chapitre IV : Essais de comparaison

Tableau IV.1 composition des éprouvettes	46
Tableau IV.2 Contraintes maximales à la rupture de chaque essai	51

Chapitre V : Essais de flexion « flexion 3-points » sur des petites dalles renforcées de fibres métalliques et polypropylènes

Tableau V.1 Composition optimisées pour 1m ³ béton et pour une dalle [25x50x7] cm ³	53
Tableau V.2 Masse des différents teneurs en fibres pour 1m ³ de béton et pour une dalle [25x50x7] cm ³	53
Tableau V.3 Forces à la rupture en flexion des dalles testées (série 1).....	57
Tableau V.4 Dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées	58
Tableau V.5 Forces à la rupture en flexion des dalles testées (série2).....	64



Introduction générale

Introduction générale

Depuis sa première mise en œuvre, au 1er siècle av. J.C, le béton a été réalisé à partir des composants de base qui sont : l'eau et les granulats. Le béton est donc par excellence un matériau composite puisque sa matrice est composée en partie de granulats de différentes dimensions, du sable et de la pâte cimentaire. Contrairement à d'autres matériaux de construction tels que le bois ou autres, ce matériau est présent dans tous les domaines de la construction, que ce soit dans le bâtiment industriel ou d'habitation, dans les murs de soutènement ou dans les ouvrages d'art comme les ponts, les tunnels et les barrages ou encore dans les pavés décrottoirs ou des pistes d'aérodromes.

Par consensus, les bétons de fibres ne peuvent substituer aux bétons armés traditionnels. Toutefois, des chercheurs ont proposé de les associer aux bétons armés et donc remplacer partiellement les armatures traditionnelles tel que : le remplacement des armatures transversales [1]. Les efforts ainsi déployés ont permis d'envisager l'utilisation des propriétés des BFM (Béton de fibres métalliques) pour remplir des tâches bien précises telles que : Réparations des revêtements routiers, les domaines des dallages industriels, les pistes d'aérodromes, les murs de soutènement, ce béton peut aussi être utilisé pour augmenter la résistance au feu du béton armé car les fibres limiteraient les ouvertures de fissures et protégeraient ainsi les armatures traditionnelles du rayonnement thermique.

Dans la présente étude expérimentale, nous nous intéressons à des fibres de récupération « locales » et des fibres polypropylènes à petites et grandes mailles pour le renforcement du béton. Ces fibres métalliques proviennent des déchets d'usinage des pièces en aciers « fibres en copeaux ». Elles sont récupérées à la société nationale des véhicules industriels en Algérie (SNVI). Leur forme géométrique et ondulée en spirales leur confère un ancrage parfait dans la matrice cimentaire.

Afin de suivre le comportement du béton armé renforcé avec deux types de fibres métalliques « fibres en copeaux » et des fibres en grilles de polypropylènes à petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM), des essais mécaniques (flexion 3-point) ont été réalisés sur la machine IBERTEST (au Laboratoire de modélisation des matériaux et structures de génie civil à L'université M.M de Tizi-Ouzou). Ces essais ont été réalisés sur des dalles de dimensions $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ pour les pourcentages (teneurs) en fibres métalliques (FM) ($W=0.2\%$, $W=0.4\%$, $W=0.6\%$, $W=0.8\%$ et $W=\%$), ainsi que les bétons témoins BT (sans fibres), et des fibres en grilles polypropylènes de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM).

Introduction générale

Avant de mener une étude expérimentale il convient d'avoir un maximum de renseignements issus de recherches déjà effectuées dans le domaine. Nous consacrons donc le premier chapitre à l'étude bibliographique.

Le deuxième chapitre est consacré aux essais de compression du béton, afin de déterminer les propriétés mécaniques du béton utilisé,

Le troisième chapitre consiste en la caractérisation expérimentale du comportement mécanique des fibres métalliques (FM) utilisées, sous sollicitations statiques (Traction uni axiale), afin de déterminer la résistance à la traction des fibres métalliques utilisées, qui permettra d'améliorer les performances mécaniques en particulier la résistance.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude du comportement en flexion (flexion-points) du béton de fibres. Deux séries d'essais en flexion (des essais de flexion 3- points) sur des dalles de dimensions [25x50x7] cm³ ont été réalisées au laboratoire de Génie-Civil, pour suivre le comportement de ces bétons armés renforcées de ces fibres en copeaux et les fibres en polypropylènes en flexion.

Enfin, une conclusion générale termine ce travail où nous présentons les différentes remarques et suggestions pour une suite future.



Chapitre I
Recherche bibliographique

I.1 Technologie du béton armé fibre

I.1.2 Introduction

En 1910, s'inspirant du concept de l'utilisation des fibres pour améliorer le comportement des matériaux fragiles (briques en terre armées de paille, plâtre armé de filasse, ciment renforcé de fibres d'amiante,...), appliqua ce procédé pour le béton et signala que les propriétés physiques du béton pouvaient être considérablement améliorées en y ajoutant des clous. Pour augmenter la résistance du béton à la fissuration et à l'usure, il a aussi proposé l'utilisation des copeaux métalliques comme renfort. Par la suite, une série de brevets ont été établis, Depuis le début des années soixante beaucoup de recherches ont été faites sur le béton de fibres, notamment en ce qui concerne ses propriétés mécaniques et le procédé de sa mise en œuvre. L'utilisation des fibres comme moyen de renforcement du béton ne s'est pas limité uniquement aux fibres d'acier. Des fibres de verre, en matière plastique, de fonte et de polypropylène ont été utilisées. Ce type de renforcement par des clous fut alors abandonné au profit des armatures filantes.

I.1.3 Définition du Béton

Le béton est fondamentalement un mélange de deux constituants : Les granulats et la pâte. Composée de ciment portland et d'eau, la pâte lie les granulats (sable et gravier ou pierre concassée) présenté par les figures I.1, I.2 en une masse qui, du fait de la réaction chimique du ciment et de l'eau, prend la consistance de la roche à mesure qu'elle durcit. Des ajouts cimentaires peuvent aussi être inclus dans la pâte.



Figure I.1 ciment, sable, gravier.



Figure I.2 béton

Certes, on peut construire avec d'autres matériaux tels que les charpentes en bois charpente métallique, maçonneries (pierres, briques) éventuellement avec du verre ... Leur utilisation est limitée pour cause de coût très élevé par rapport à celui du béton et parfois pour leurs propriétés technologiques inadaptées. De par sa nature et son mode opératoire de fabrication, le béton se différencie des autres matériaux. C'est le matériau polyvalent par excellence. Selon la formule utilisée pour le fabriquer, ses propriétés différeront et le rendront unique par rapport aux autres. Toutefois, le matériau béton doit s'adapter de manière continue aux exigences nouvelles en matière de propriétés ce qui a incité les chercheurs et les industriels à introduire dans les formulations de nouveaux produits afin d'obtenir des propriétés recherchées. Ainsi, actuellement, assiste-t-on à une large variété de gammes de bétons pour répondre à la forte demande des industriels. S'appuyant sur les connaissances de ces nouveaux matériaux, les maîtres d'œuvre proposent des ouvrages innovants. Il s'agit là de réaliser des ouvrages avec des compositions de béton répondant aux critères exigés définis pour chaque ouvrage. [2].

I.1.4 Définition du béton de fibres

Un béton armé de fibres est un mélange contenant une répartition de fibres discontinues dans une matrice de béton traditionnel. Les fibres sont assimilables à un granulats spécial, susceptible d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations [3].

Le béton renforcé de fibres métalliques est un matériau composite dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux. D'un point de vue simplifié, les composites sont constitués de trois phases : la matrice, les fibres de renfort et

les zones de transition (interface fibre – matrice). La diversité des composites est essentiellement due à la variabilité du renfort fibreux qui peut être différencié selon son aspect géométrique (fibres courtes, longues, droites, ondulées, ...) ou le type du matériau constitutif (fibres polymériques, naturelles, métalliques, de verre...).[4]



Figure I.3 Le béton armé.

I.1.5 Historique

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont: le ciment, l'eau et les granulats. Le ciment, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres, constitue la phase liante des éléments du béton. Ces éléments sont le sable, avec une taille de grains

Comprise entre 1 et 5 mm et les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 25 mm Les romains le confectionnaient à partir de la chaux, de céramique écrasée et de sable volcanique.

En 1910, s'inspirant du concept de l'utilisation des fibres pour améliorer le comportement des matériaux fragiles (briques en terre armées de paille, plâtre armé de filasse, ciment renforcé de fibres d'amiante, etc. H.F. Porter a suggéré pour la première fois l'utilisation de fibres métalliques dans le béton dans l'optique d'améliorer les performances mécaniques du béton Par la suite une série de brevets ont été établis, Les fibres sont ajoutées dans la matrice dans le but de contrôler la fissuration, d'empêcher la coalescence des fissures et de changer le comportement du matériau renforcé de fibres en cousant les fissures .Cependant, le béton renforcé de fibres métalliques (BFM), en tant que matériau dans les applications industrielles, a vu le jour aux Etats-Unis au début des années 60 suite aux travaux Il était produit en utilisant du ciment hydraulique classique, des granulats (sable et gravier), de l'eau et des fibres. Afin d'améliorer la maniabilité et la stabilité du béton renforcé de fibres, un super plastifiant peut également être ajouté dans le mélange. Ce béton n'est pas considéré comme un substitut du béton ordinaire, mais comme un matériau de type différent.

A partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de latechnologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres a permis leur utilisation de façon permanente dans des applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels. Le premier article dans ce concept peut être attribué à Lankard et Sheets [6]. Dans cet article, ces auteurs confirment que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire entraine une amélioration significative de sa résistance, de sa ténacité et de sa durabilité.

I.1.6 Rôle des fibres

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition des fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton, comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité .Il a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

➤ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la Figure I.4

➤ La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes. [7]

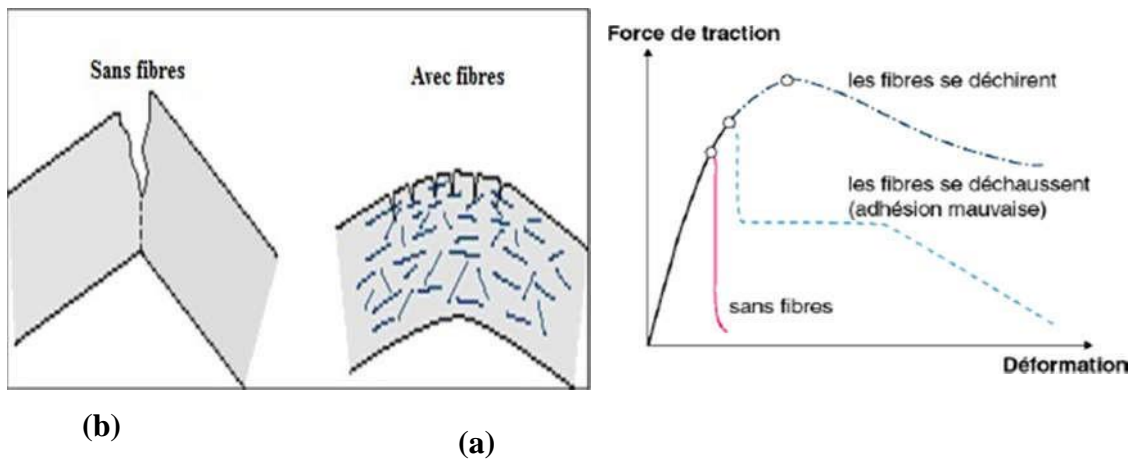


Figure I.4 Illustration de l'apport du renfort par des fibres [8].

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- l'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire,
- l'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration,
- la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge.
- la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur),
- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion,

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture [9]. La Figure I.5 illustre les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres.

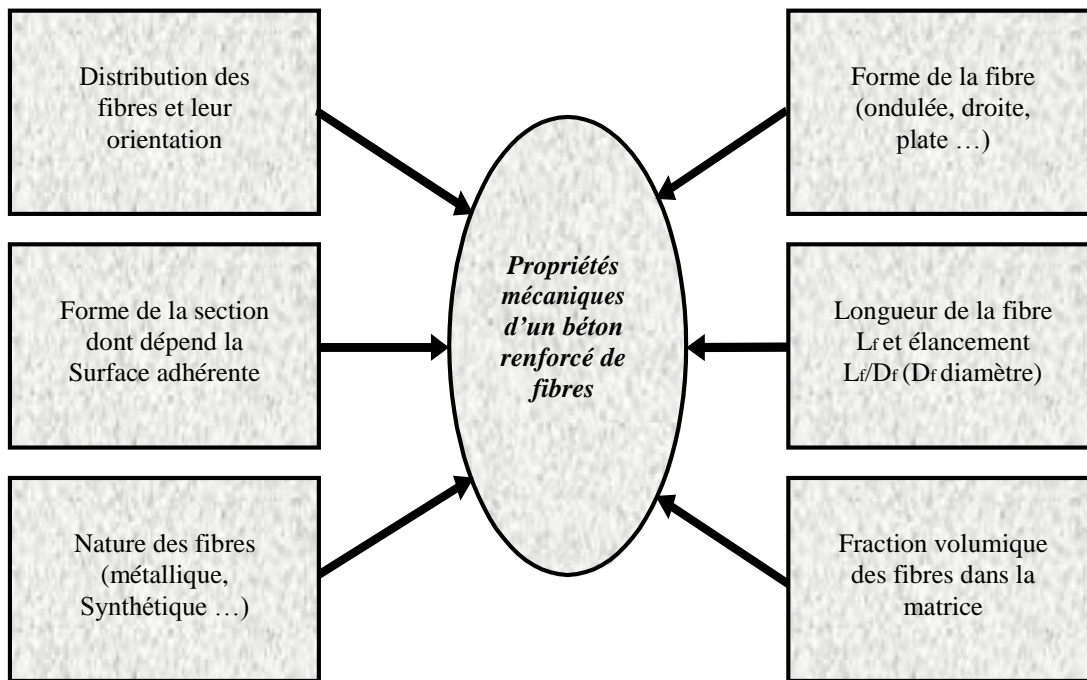


Figure I.5 Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibres.

On peut donc aisément comprendre qu'il est extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable.

I.2 Les fibres

I.2.1 Différents types de fibres

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leurs dimensions (macro ou microfibrés) et leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont les fibres organiques et les fibres inorganiques.

I.2.2 Fibres organiques

Ces fibres ne sont pas utilisées pour renforcer le béton, vu que leurs caractéristiques mécaniques sont inférieures à celles du béton. Elles sont par contre mieux adaptées pour le renforcement des sols, notamment dans le corps des chaussées nous pouvons citer :

- **Les fibres végétales et animales** : la principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

- **Les fibres synthétiques** : cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme le nylon, le polypropylène, l'acrylique, le polyester ...etc. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès est le nylon, date de 1938. Depuis, de nombreuses fibres synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide et le polystyrène sont apparus. [10]

I.2.3 Fibres non organique

Ces fibres ont une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé, comparativement à la matrice. Dans cette catégorie de fibres, nous pouvons citer :

- **Les fibres minérales** : Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine...etc.). Elles sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes. [10]

Les fibres artificielles : Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine du génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres métalliques et autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

Les principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et les bétons sont les fibres métalliques. Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore un objet de recherches très important. Les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale fibre - matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les a conduits aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètres, leurs sections (ronde, carrée, rectangulaire), leurs longueurs et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm

.Les fibres métalliques sont classées en deux catégories :

- Les fibres fonctionnant par adhérence, de forme généralement plate, ayant une surface spécifique importante. Elles sont peu ductiles. Leur principal apport est la limitation de l'ouverture des fissures.

- Les fibres fonctionnant par ancrage, de forme cylindrique en acier tréfilé, ayant un comportement ductile. L'ancrage est assuré par des crochets aux extrémités de la fibre ou par la forme ondulée de la fibre. Ces fibres confèrent une bonne ductilité au béton car elles ont une capacité de reprise d'efforts importante lorsque les fissures sont assez ouvertes. Quelques types de fibres

couramment usitées sont donnés dans le tableau I.1 suivant :






Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	R_t X10 ² [MPa]	E X10 ⁵ [MPa]	L [mm]	l [mm]	D [mm]	e [mm]
Bekaert Dramix ZC50/50		Fil d'acier étiré à froid	11	2	50	.....	0,5	.....
Eurosteel 50/80 60/100		Acier tréfilé à moins de 0.15% C	14	2	50 60		0,8 à 1	....
Twincon E à 2 têtes		Acier tréfilé	12	2	54	.....	1	.....
Pont à Mousson		Fonte amorphe à 5% de Cr	20	1,4	60	1,5 à 2	.....	0,03
Harex		Obtenues par le fraisage de blocs d'acier.	7	2	32	2	.....	0,25

Tableau I.1 Caractéristiques des fibres couramment utilisées [11]

R_t : résistance à la traction du matériau de la fibre.

E : module d'élasticité à la traction du matériau de la fibre.

L : Longueur.

l : Largeur.

D : Diamètre.

e : Epaisseur.

I.3 Principe d'action des fibres

D'après [12], le principe d'action des fibres se manifeste à deux échelles : le matériau et la structure. Considérons une pièce de béton renforcé de fibres soumise à un effort de traction. On peut distinguer 3 phases sur la courbe contrainte - déformation qui représente son comportement Figure I.6. Une première phase où l'on observe la formation de microfissures qui se développent très tôt, généralement dans des zones de moindre résistance mécanique comme l'interface entre les granulats et la matrice (auréoles de transition). La longueur de ces fissures est de l'ordre du diamètre des granulats, leur largeur de l'ordre du micron. Durant cette phase, les fibres sont inactives. La deuxième phase correspond au développement des macros fissures qui résultent de la coalescence des microfissures. ce stade, des contraintes sont transférées aux fibres qui contribuent à limiter la propagation des fissures.

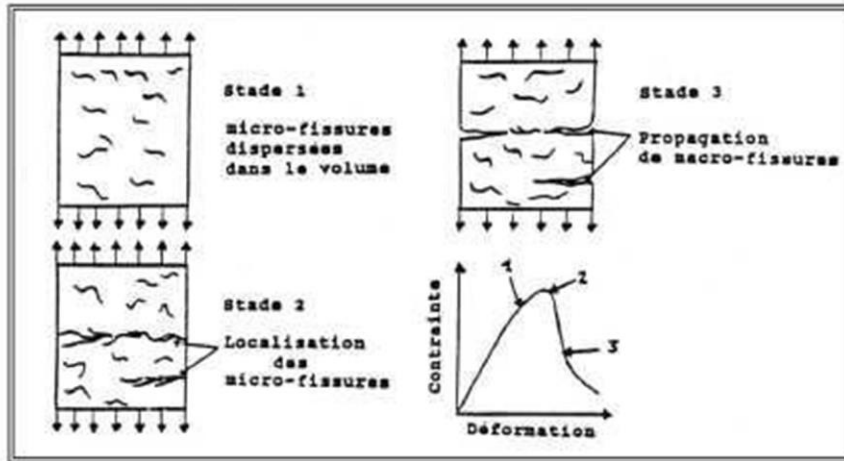


Figure .6 Processus de fissuration du béton

Cette étape est suivie par la propagation d’une macro fissure (phase 3) séparant l’éprouvette en deux blocs, et provoquant ainsi la ruine de l’éprouvette [13].

La Figure I.7 illustre le principe de couture des fibres à travers une fissure dans la matrice[14] et [15].

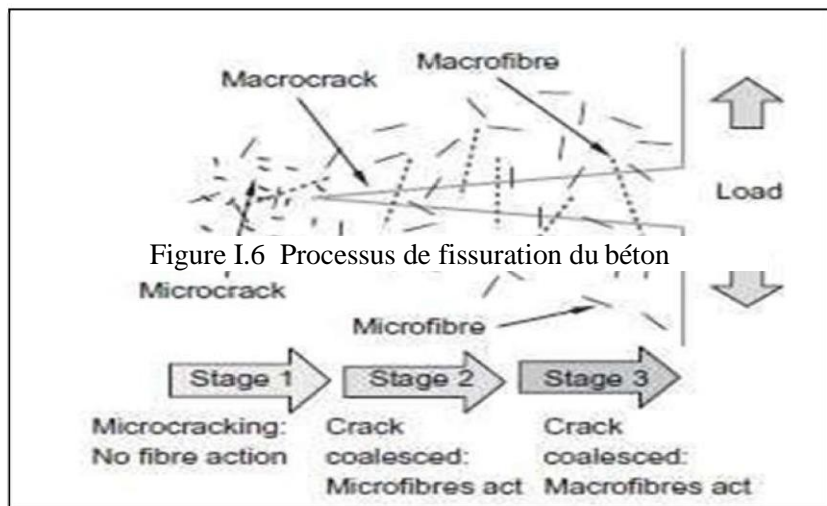


Figure I.7 Schéma de l’interaction des fibres avec le développement des fissures dansun composite [15].

Le mécanisme de couture des fibres assure une redistribution uniforme des contraintes dans la matrice, contribue à l’amélioration de la résistance post-fissuration et à la limitation de la propagation des fissures et confère ainsi une ductilité au béton [16].

I.4 Action des fibres métalliques sur le béton à l’état frais

La maniabilité des bétons est affectée de manière significative par l’addition de fibres : la porosité du squelette granulaire est d’autant plus grande que le volume des fibres est important .Pour que les fibres soient efficaces à l’état durci, il est recommandé de choisir des fibres plus longues de 2 à 4 fois

Que la taille du plus gros granulat. L'introduction des fibres entraînant une diminution de l'affaissement estimé entre 50 et 75 mm, l'ajout d'un super plastifiant est donc fortement conseillée afin de remédier à cette perte d'ouvrabilité.

Récemment, a mis au point une méthode d'optimisation de la composition des bétons renforcés de fibres métalliques devant être utilisés dans des structures en béton armé. La démarche est basée aussi sur la méthode de J. Baron et R. Lesage [17], mais contrairement à qui a utilisé le cône d'Abrams, cette étude a été réalisée avec le maniabilité L.C.L et le temps d'écoulement a été déterminé en appliquant une vibration externe. La figure I.8 montre l'effet général du rapport sable/gravier sur le temps d'écoulement, la teneur et la composition de la pâte ayant été maintenues constantes.

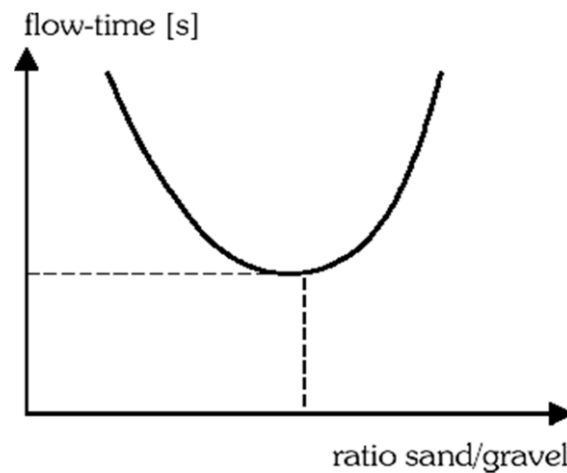


Figure I.8 Effet du rapport sable/gravier sur la maniabilité du béton renforcé par des fibres [18].

I.4.1 Comportement mécanique des bétons renforcés de fibres

Les fibres interviennent essentiellement dans la phase post-fissuration assumant un transfert des contraintes à travers la discontinuité du champ des déplacements. Avant fissuration, les fibres n'ont aucune ou peu d'influence sur le comportement mécanique, que ce soit à la compression ou à la traction. Une fois la fissure ouverte, les fibres par leur action directe restreignent la propagation de la fissure [19]. La figure I.9 montre le comportement global d'une éprouvette en béton fibré soumise à la traction directe.

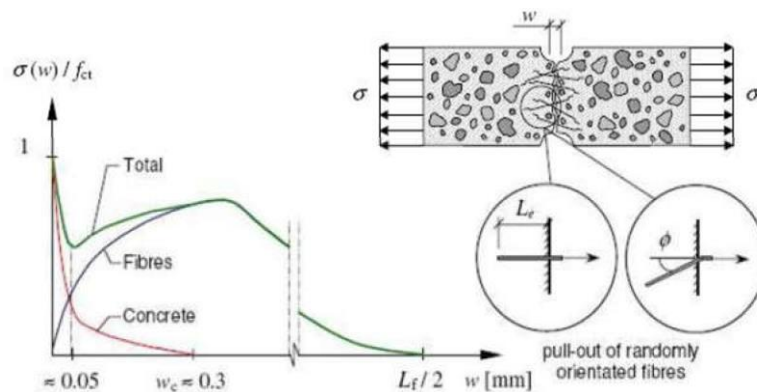


Figure I.9 Contribution des fibres dans le comportement à la traction [20].

On peut noter l'apport des fibres dans le comportement post-fissuration par rapport à un béton ordinaire : en première approximation, il est évalué en faisant la différence entre la réponse du béton fibré et celle du béton de référence.

Abstraction faite des propriétés intrinsèques du matériau constitutif de la fibre et de sa géométrie, l'efficacité du renfort par des fibres est intimement liée à leur espacement moyen dans la matrice. Le nombre de fibres par unité de surface de la fracture, N_1 , est donc un paramètre qui gouverne le comportement post fissuration.

La littérature propose quelques outils pour accéder à N_1 , en particulier une des relations les plus usuelles :

$$N_1 = \alpha (V_f / A_f)$$

Où V_f est le dosage volumique en fibres, A_f est la section de la fibre et α est le facteur orientation. Quand des fibres sont dispersées dans un volume « infini » de béton (Figure I.10 configuration 3-D), on peut penser que la probabilité d'une orientation privilégiée est nulle. Lorsque ce béton se retrouve entre deux parois aussi proches comparativement à la longueur de la fibre (Figure I.10), ce confinement nous éloigne des conditions précédentes (configuration 3-D) pour nous rapprocher d'une configuration à deux dimensions (2-D). Avec 4 parois les degrés de liberté sont plus limités et l'on s'éloigne de plus en plus des conditions sans orientation privilégiée pour tendre un alignement unidirectionnel (configuration 1-D).

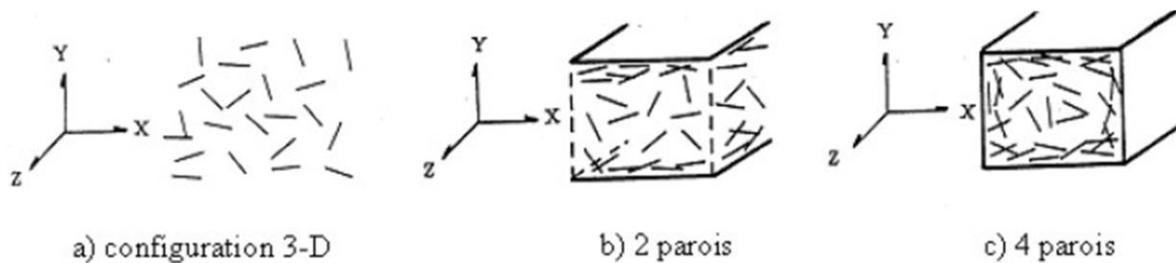


Figure I.10 Schématisation de l'orientation des fibres métallique dans le béton [21].

Les effets de cette orientation préférentielle des fibres sont généralement pris en compte à travers le facteur orientation qui correspond au rapport entre la longueur de la fibre projetée suivant la direction du chargement et la longueur réelle de cette même fibre. Il s'agit bien entendu d'un rapport moyen dans ce sens où il faut balayer toutes les orientations possibles de la fibre. D'après de nombreux auteurs, ce facteur orientation est compris entre 0,41 et 0,82.

L'orientation des fibres dans une structure (poutre, dalle ...) est influencée par plusieurs paramètres. L'analyse a montré qu'un effet d'orientation des fibres limité.

I.4.2 Comportement mécanique de dalle en béton armé

Se manifeste dans les cas où les dimensions de l'élément sont inférieures à 5 fois la longueur des Fibres

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer. La figure (I.11) illustre les phases successives du comportement d'une dalle en béton armé sous une charge qui augmente progressivement.

- **Phase élastique linéaire**

Dans cette première phase de chargement (stade I), la dalle se comporte pratiquement comme une structure dotée d'un comportement élastique linéaire.

- **Phase de fissuration**

La fissuration du béton apparaît dans les zones les plus sollicitées pour s'étendre sous charge croissante aux autres zones pour lesquelles le moment de fissuration est dépassé. La rigidité des sections fissurées est réduite, ce qui conduit à une modification de la répartition des moments de flexion, les moments dans les zones non fissurées augmentent plus, pour un même accroissement de charge, que dans la phase élastique. Tant que l'écoulement de l'armature ne se produit pas, l'ouverture des fissures est limitée.

- **Phase d'écoulement**

L'armature s'écoule progressivement dans les zones où les moments sont les plus élevés. Les sections où l'acier d'armature atteint sa limite d'écoulement continuent de se déformer, mais le moment de flexion n'y augmente plus, ce qui cause une redistribution des moments, plus importante que dans la phase précédente. Les zones d'écoulement de l'acier s'étendent progressivement et se concentrent le long de bandes étroites où se produisent les fissures les plus ouvertes. Ces fissures se développent suivant un schéma qui dépend notamment de la géométrie de la dalle, des conditions d'appui, de la répartition des armatures et du mode de chargement.

- **Phase de rupture**

Lorsque les lignes d'articulation ont atteint un stade de développement tel que la dalle est transformée en un assemblage de sous-structures, une très légère augmentation de la charge conduit à un état d'équilibre instable provoquant l'effondrement de la dalle.

Dans le domaine élastique, selon les conditions d'appuis, on trouve différentes solutions, le plus souvent sous forme de séries de Fourier (solution de Navier pour les dalles articulées sur leurs quatre côtés, solution de Maurice Lévy pour les dalles articulées sur deux côtés opposés).

Dans le domaine post-élastique, la méthode cinématique est applicable aux dalles en partant d'un mécanisme admis a priori, c'est la théorie des lignes de rupture développées initialement [35]

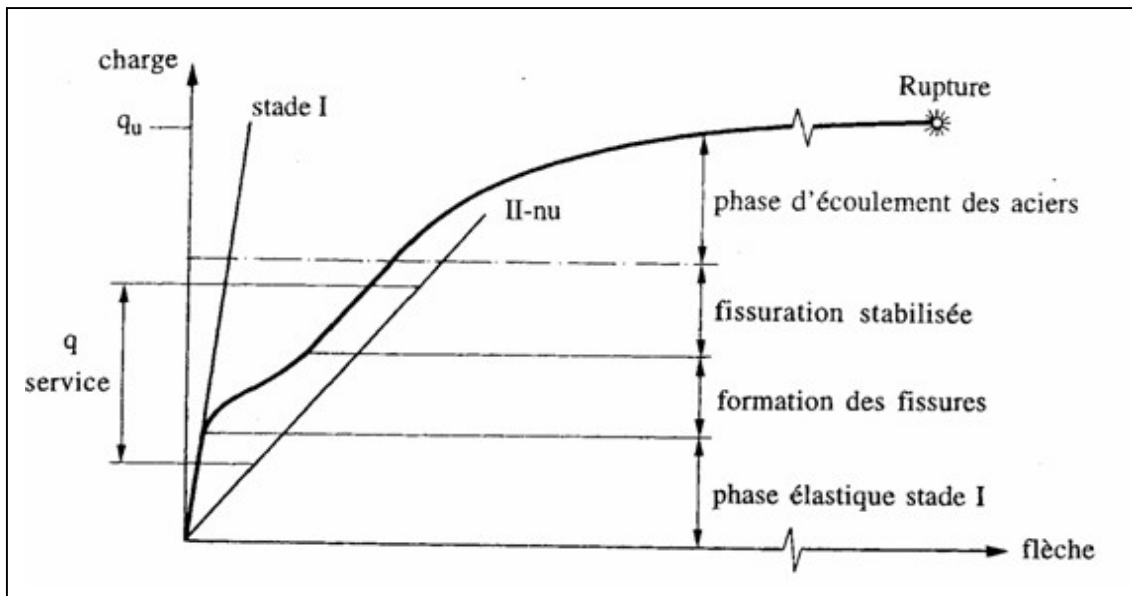


Figure I.11 Phases successives du comportement d'une dalle en flexion[22]

Dans le cas des dalles renforcées par composites, et contrairement aux poutres renforcées, on trouve moins de travaux dans la littérature [22]

I.5 Mise en œuvre du béton renforcé de fibres

Lors de la mise en œuvre du béton de fibres, le dosage en fibres ne peut pas dépasser certaines limites car au-delà, le gâchage et la mise en œuvre deviennent impossibles. Compte tenu des rôles opposés dévolus aux paramètres fondamentaux des fibres (dosage en volume, forme et rapport longueur sur le diamètre) sur l'ouvrabilité et la mise en œuvre, et sur l'efficacité mécanique après durcissement, on doit se limiter à une gamme de pourcentages qui ne donne qu'une efficacité mécanique réduite mais qui permet une mise en œuvre acceptable [23].

I.5.1 Composition du béton de fibres

La composition du béton de fibres est différente de celle du béton armé. L'ouvrabilité et l'homogénéité du béton de fibres dépendent de trois facteurs principaux qui sont la géométrie des fibres, la granulométrie de la matrice et le volume de fibres dans le composite.

Pour avoir un renforcement efficace de la matrice, les fibres doivent être suffisamment longues pour s'opposer à l'ouverture des fissures inter granulaires. Cette longueur doit représenter trois fois la dimension du plus gros granulat [24]. Aussi, pour couvrir efficacement les deux parties des fissures, il faut que les fibres soient munies d'un système d'accrochage qui leur assure un ancrage solide dans la matrice. Cependant, il faut noter que l'augmentation de la longueur des fibres et la présence de systèmes d'ancrage spécifiques diminuent l'ouvrabilité du béton.

La granulométrie du béton est étroitement liée à la dimension des fibres. Les dimensions des granulats doivent être telles qu'un nombre réduit de fibres suffise à les encadrer Figure : I.12. Pour que les granulats soient bien encadrés par les fibres il est nécessaire d'avoir une matrice riche en éléments fins. Une composition granulaire appropriée s'avère donc nécessaire pour le béton armé de fibres, afin d'obtenir une distribution uniforme des fibres dans le béton et parer à la formation des pelotes de fibres.

La granulométrie influe beaucoup sur la maniabilité du béton, la présence de gros granulats crée des frictions entre les particules ce qui a tendance à réduire l'ouvrabilité. De plus, les fibres incorporées au mélange interfèrent avec les gros granulats et se trouvent de ce fait limitées dans leurs possibilités de mouvement ce qui affecte aussi la maniabilité. Les fibres s'accommodent mieux de bétons relativement fins dont le diamètre maximum des grains est de l'ordre du quart de la longueur de la fibre, les bétons de sable se prêtent particulièrement bien à l'inclusion de fibres.

Concernant la teneur en fibres, il a été montré que la teneur maximale dans la matrice est limitée par le pourcentage de gros granulats car les fibres doivent être bien enrobées. Une forte teneur en fibre entraîne une diminution rapide de l'ouvrabilité du béton du fait que l'incorporation des fibres se traduit par une augmentation de la surface spécifique dans le mélange. Cette augmentation de surface tend, par absorption d'eau, à sécher le mélange, ce qui engendre une perte de compacité et d'ouvrabilité (figure. 1.13). Pour augmenter l'ouvrabilité du béton de fibres on ajoute en général des plastifiants dans le mélange. La quantité de plastifiant à ajouter dépend de son efficacité [25]. Il faut, dans ce cas-là, un ajustement de la composition des granulats pour que l'adjuvant atteigne son maximum d'efficacité. La teneur en fibre est fixée par une relation empirique dite « limite de faisabilité » :

$$V_f \cdot L/D < 3$$

Avec :

- $V_f = V_f \% \cdot 100$: fraction volumique des fibres
- L/D : élancement des fibres.

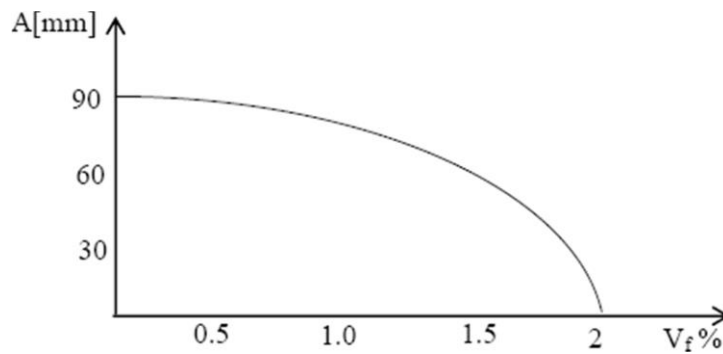


Figure I.12 Effets des fibres sur l'affaissement du béton au cône d'Abrams [27].

I.5.2 Formulation du béton de fibres

Les méthodes de composition des bétons renforcés par des fibres métalliques [28, 29, 26], pour la plupart empiriques, sont basées essentiellement sur un grand nombre d'études expérimentales. Elles aboutissent à des recommandations qui ne sont pas adaptées à toutes les utilisations que l'on fait du béton de fibres et ne permettent pas de tirer la meilleur parti de ce composite. Suivant l'application industrielle envisagée, la composition du béton renforcé de fibres métalliques doit être à chaque fois spécifique et conduit à un composite optimisé vis-à-vis de l'objectif visé. Ainsi, suivant que l'on désire obtenir un béton de fibres métalliques très maniable, très résistant ou ayant une influence sur la ductilité des structures, la composition du matériau composite sera complètement différente.

Pour mieux optimiser la composition des bétons de fibres métalliques, le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) propose une méthode expérimentale basée sur la méthode de Baron Lesage, utilisée aussi pour les bétons courants [30]. Ces méthodes basées sur deux hypothèses :

- pour un dosage en eau et ciment fixé au départ (E/C fixé), le béton le plus maniable est le plus compact et son squelette minéral est optimal.
- le dosage optimal en granulats ne dépend pas de la nature et du volume de pâte de ciment (Eau + Ciment).

Pour appliquer cette méthode au béton de fibres métalliques on introduit une troisième hypothèse : l'ajout de fibres métalliques ne modifie pas les deux premières hypothèses [30].

La méthode de Baron-Lesage consiste à :

Fixer au départ, le rapport eau sur ciment (E/C) ainsi que le pourcentage de fibres à incorporer,
Faire varier le rapport S/G (sable sur granulats) et déterminer pour chaque rapport la maniabilité du béton de fibres,

Tracer la courbe reliant la maniabilité et le rapport S/G et déterminer le rapport S/G pour lequel la maniabilité est la plus grande.

L'application de la méthode de BARON LESAGE pour la composition du béton de fibres métalliques conduit à une composition totalement différente de celle du béton courant. La composition obtenue est riche en pâte de ciment, ce qui favorise l'adhérence des fibres à la matrice. Lors de l'élaboration du béton de fibres métalliques il convient :

De bien choisir la méthode de mesure de l'ouvrabilité du béton car toutes les méthodes ne conviennent pas au béton de fibres. Les méthodes de mesure faisant appel à la vibration (maniabilité LCL, flow test) sont plus indiquées.

De choisir judicieusement le type et le pourcentage de fibres à incorporer en relation avec l'application industrielle visée.

D'éviter l'utilisation de l'aiguille vibrante du fait de l'orientation préférentielle des fibres et de l'effet de cheminée. Il est préférable d'utiliser les vibreurs de coffrage et les règles vibrantes.

De porter une grande attention à la méthode de malaxage, donc à la séquence d'introduction des différents matériaux, de façon à assurer une distribution uniforme des fibres dans le mélange frais.

I.5.3 Domaine d'utilisation du béton renforcé de fibres

Les bétons de fibres métalliques, sont de plus en plus utilisés dans le Bâtiment et les travaux publics. Deux grands groupes d'application peuvent être distingués : il s'agit de la préfabrication et du coulage in-situ sur l'ouvrage. Illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts présentés par le tableau I.2

Le **tableau I.2** illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts :

Applications	Intérêts apportés par l'ajout des fibres dans le Béton
Coalisation et coque minces faiblement sollicité	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges. - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre la fissuration.
Dallages, chaussées en béton, dallage manufacturés, et éléments structuraux soumis à la flexion.	- Diminution de 40% de l'ouverture des fissures. - Augmentation de la rigidité après fissuration. - Augmentation de la résistance au cisaillement. - Augmentation de la résistance à l'usure.
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations.....)	- Amélioration de la charge ultime. - Pas de rupture fragile.
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	- Energie absorbée plus importante. - Augmentation de la résistance aux chocs. - Loi de comportement du matériau fortement améliorée.
Réparation des revêtements routiers, tabliers de ponts.	- Amélioration de la résistance aux chocs. - Amélioration de la déformabilité et de la durabilité.
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures.	- Remplacement avec succès de revêtement réfractaire. - Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires.
Stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels, et galerie souterrains.	- Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé. - Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires.

Tableau I.2 Quelques applications de bétons renforcés de fibres [31]

I.6 Propriétés physiques et mécaniques des bétons de fibres

I.6.1 Influence des fibres sur les principales caractéristiques du béton

I.6.1.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression simple est, pour l'ingénieur concepteur, la caractéristique de base des bétons employés dans les structures. Plusieurs études théoriques et expérimentales ont montré que la présence des fibres dans le béton influe peu sur sa résistance à la compression. L'ajout des fibres métalliques augmente la résistance à la compression du composite d'environ 20% [29]. Selon Serna Ross [32], la résistance ultime et le module d'élasticité du béton armé de fibres diffèrent peu de la résistance ultime et du module d'élasticité de la matrice de béton. Néanmoins, la présence des fibres

dans le béton augmente la déformation à la rupture et confère ainsi une plus grande ductilité au composite.

I.6.1.2 Résistance à la traction

Comme la matrice de béton a un caractère fragile et une faible résistance à la traction, le comportement mécanique en traction est conditionné par la fissuration du béton. Les fibres apportent une légère augmentation de la résistance à la traction du béton de fibres (un accroissement de 16% selon [29] et une certaine ductilité du comportement post-rupture du composite [33]. La présence des fibres dans le béton joue un rôle important dans le comportement en traction du composite. En effet les fibres interviennent à deux échelles :

à l'échelle du matériau en "cousant" les microfissures, elles retardent la localisation de la fissuration. Cette action peut provoquer une augmentation de la résistance à la traction. Cette augmentation dépend de la teneur en fibres et de leur orientation dans la masse de béton.

à l'échelle de la structure, en "retenant" les deux blocs de béton fissuré grâce à leur ancrage des deux côtés de la fissure. Les fibres permettent d'atténuer la fragilité du béton et lui procurent ainsi une plus grande ductilité.

I.6.1.3 Résistance à la flexion

D'après [34], une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et du comportement en flexion des bétons autobloquants renforcés de fibres.

[35, 36] Ont étudié le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibre aflex (FM) 30x1, 6x0, 03 mm et synthétiques de type polypropylène (FS) 50x1, 6x0, 4 mm). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m^3 pour FM, 9 kg/m^3 pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m^3 pour un fibrage mixte (compositions qui seront plus tard utilisées dans nos essais). Les résultats obtenus sont détaillés ci-après.

➤ Les fibres métalliques « FM » qui sont réputées très adhérentes à la matrice ont conduit à une augmentation de la capacité portante néanmoins la résistance résiduelle chute rapidement pour des flèches imposées plus élevées.

➤ Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges.

➤ L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.

➤ Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques. Les Figure I-13 illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche.

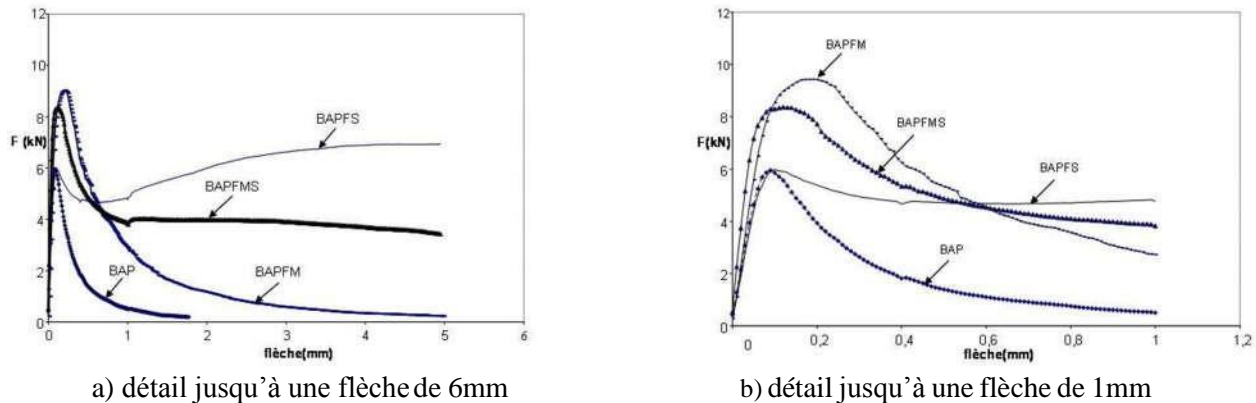


Figure I.13 Courbe effort-flèche pour différentes compositions [34].

[34,36] ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorerait le comportement à la flexion des bétons. Dans cette étude, les conclusions doivent être entendues dans ces limites, l'auteur ayant utilisé des fibres métalliques de longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un dosage volumique maximal en fibres de 1%.

-Les dalles en béton renforcé par des fibres métalliques présentent généralement une meilleure résistance en flexion par rapport aux dalles en béton traditionnelles. Les fibres métalliques, généralement en acier, sont incorporées dans le béton pour renforcer sa capacité à résister aux contraintes de flexion.

Lorsque la dalle est soumise à une charge de flexion, les fibres métalliques agissent comme des renforts dispersés dans le béton et aident à prévenir la propagation des fissures. Elles agissent également comme des ancrages, ce qui améliore la résistance au cisaillement de la dalle.

Les fibres métalliques peuvent être de différents types, notamment des fibres courtes ou des fibres longues. Les fibres courtes sont généralement mélangées au béton lors de sa fabrication, tandis que les fibres longues peuvent être prédisposées sur une grille avant le coulage du béton. Les fibres métalliques peuvent également être enrobées pour améliorer leur adhérence au béton.

Grâce à l'ajout de fibres métalliques, les dalles en béton peuvent présenter une meilleure résistance à la flexion, une plus grande capacité de charge, une réduction des fissures et une meilleure durabilité globale. Cependant, il est important de noter que les caractéristiques spécifiques du comportement en flexion des

dalles en béton renforcé par des fibres métalliques peuvent varier en fonction de facteurs tels que le type, la quantité et la distribution des fibres utilisées, ainsi que de la conception de la dalle elle-même.

I.6.1.4 Résistance à la traction par flexion

Le comportement du béton en flexion est conditionné par la fissuration de la zone tendue, or la présence des fibres peut jouer un rôle de stabilisateur après rupture de la matrice de béton.

Ainsi de nombreuses études ont montré une nette amélioration de la résistance à la traction par flexion.

Les diagrammes contrainte - déformation obtenus illustrent parfaitement ce phénomène. Alors que le béton sans fibres se désagrège rapidement après fissuration, les bétons de fibres d'acier continuent à reprendre des efforts même après que la charge maximale soit atteinte. la résistance à la traction par flexion des bétons de fibres peut être multipliée par 2 à 6 par rapport à celles des bétons sans fibres (figure I.14).

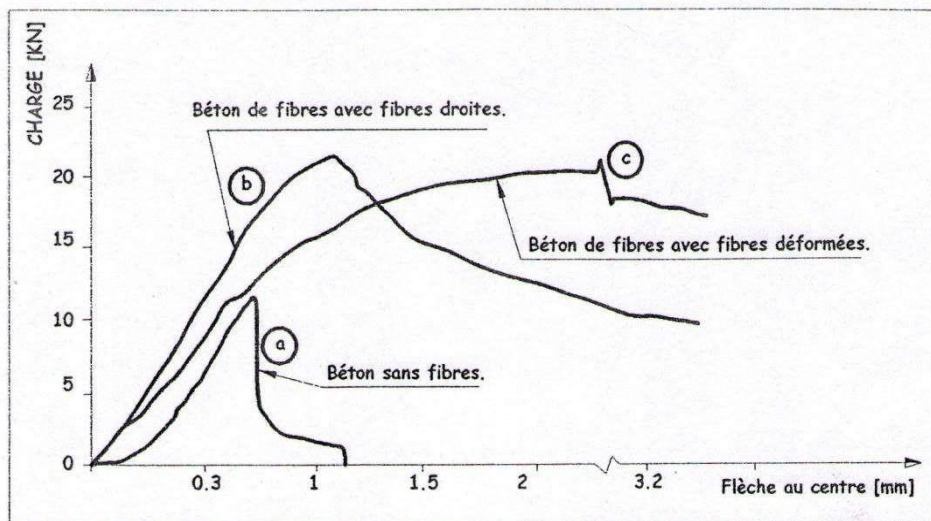


Figure I.14 courbe charge-flèche en flexion simple d'un béton sans fibres et d'un béton renforcé par des fibres métalliques SWAMY

ZHAN [29] a remarqué lors de son étude expérimentale que l'effort à l'apparition de la première fissure peut être augmenté de 40 à 50 % par l'ajout des fibres par rapport au béton sans fibres, le domaine post-fissuration présente pour toutes les fibres un palier plastique important (figure I.15). Le même auteur a adopté dans le cas du béton de fibres la formule usuelle utilisée dans le cas du béton armé pour le calcul de la résistance à la traction directe du composite à partir de l'essai de flexion.

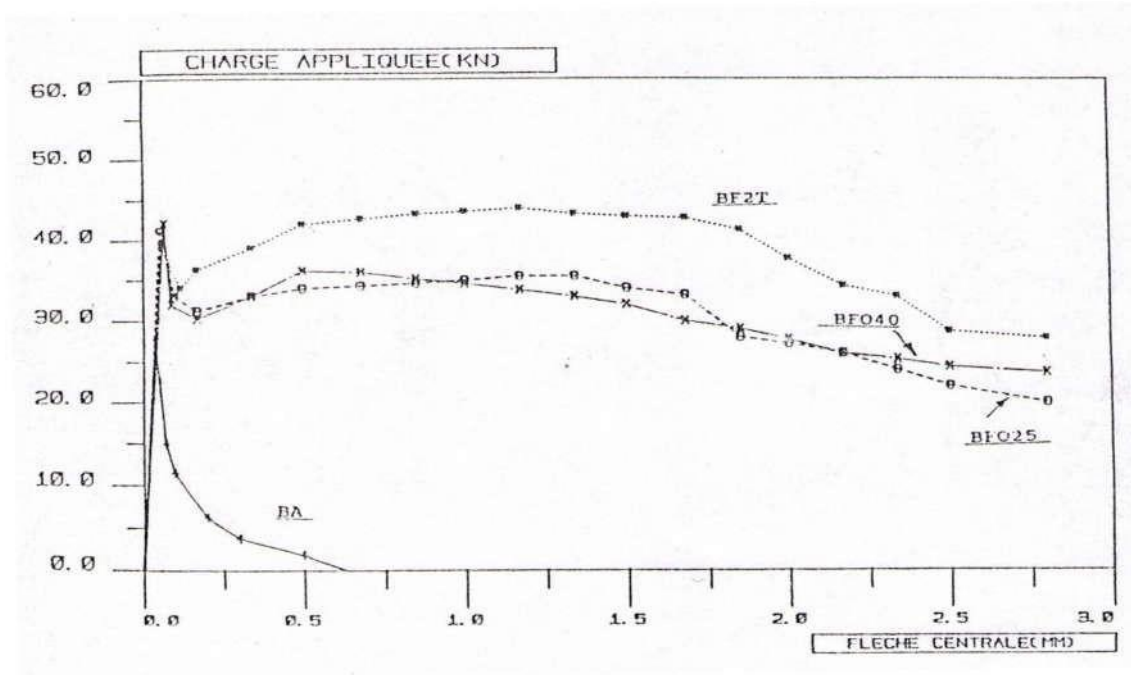


Figure I.15 Courbe charge-flèche des essais de flexion sur des éprouvettes prismatiques [29].

Avec :

$$f_t = 0.6 f_{ft}$$

f_t : Résistance à la traction,

f_{ft} : Résistance à la traction par flexion.

Contrairement à ces résultats encourageants, MAMILLAN et al [25] ont constaté que seules les fibres à crochets (DRAMIX) avec un pourcentage de (1%) peuvent augmenter de façon significative la résistance ultime à la traction par flexion (figure I.16).

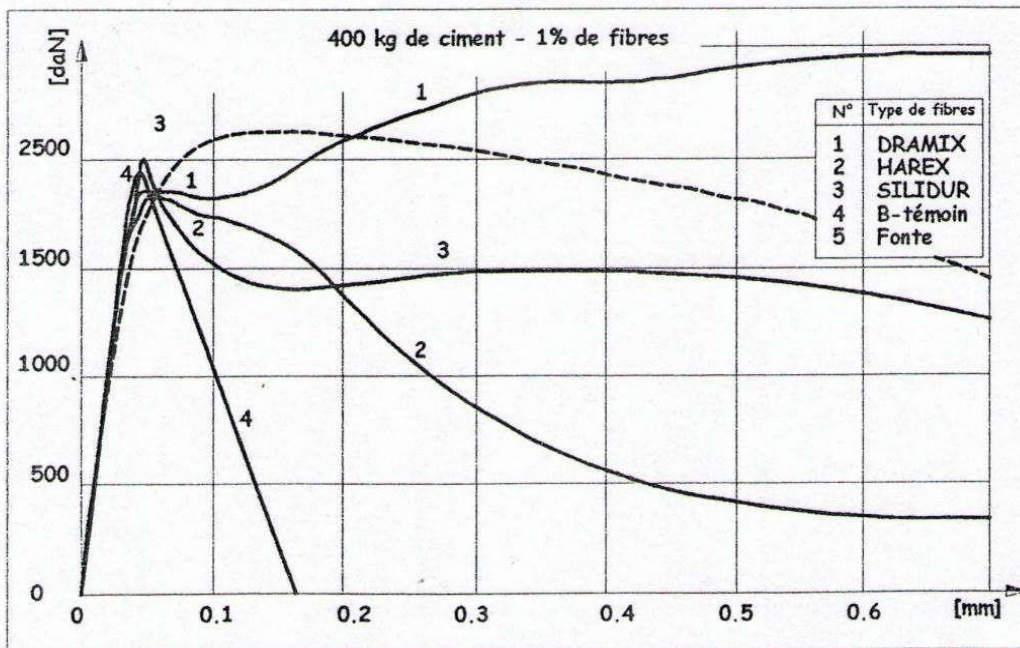


Figure I.16 Courbes charge-flèche en flexion simple pour les différents types de béton de fibres par rapport au béton témoin.

Les essais de flexion composée sur des pieux en vraie grandeur (0.5m de diamètre, 4 m de longueur), effectués par ZHAN [29], montrent également l'intérêt de l'incorporation des fibres dans le béton. En effet, les courbes moment-flèche (figure I.17) mettent en évidence :

- l'augmentation de la flèche à la rupture par rapport au béton armé (BA) voir (tableau I.3).
- Le moment de rupture est plus important pour les pieux en béton de fibres comparativement au béton témoin (BT).

	Type de fibres	Dosage en fibres Kg /m ³	Flèche/f (BA)	M / M (BT)
BfO25	Ondulées	25	1.54	1.105
BF2T	à crochets	25	1.87	1.122
BFO40	ondulées	40	1.09	1.087

Tableau I.3 Comparaison de la flèche des B.A.F. à celle du béton armé, et du moment de rupture des bétons armés de fibres à celui du béton témoin [29].

On constate que les fibres à crochets sont plus efficaces, elles augmentent le moment de 12.2% et la flèche de 87% à la rupture.

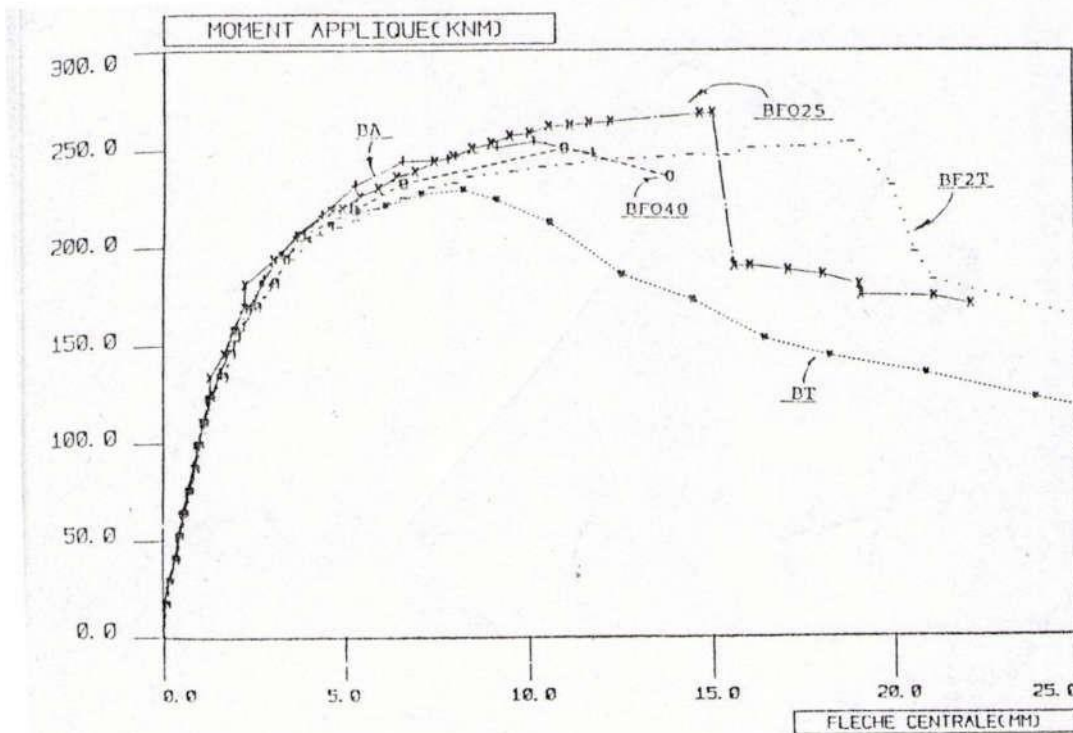


Figure I.17 Courbes moment-flèche pour différents pieux en flexion composée [29].

I.6.1.5 Résistance à la traction par fendage

L'essai de fendage (appelé essai brésilien) est une méthode pour déterminer la résistance à la traction. Il s'agit d'écraser une éprouvette cylindrique d'élancement 2, placée horizontalement entre les deux plateaux d'une presse, par des essais de fendage, (les fibres utilisées sont des fibres à crochets aux extrémités), remarque qu'avec un pourcentage de fibres relativement élevé ($> 0.8\%$) l'effort continue d'augmenter après la première fissure du matériau. [29], par des essais de fendage non asservis, remarque une augmentation d'environ 34% de la résistance à la traction. L'augmentation de la quantité de ciment joue un rôle peu important concernant la résistance à la traction du béton (une augmentation de 8% au lieu de 30% en flexion). Avec des essais asservis, le même auteur montre que la présence des fibres permet au composite d'avoir une bonne ductilité et augmente la charge maximale dans le domaine post fissuration.

I.6.1.6 Résistance au cisaillement

Selon [37], [38], la présence des fibres dans le béton augmente sa résistance au cisaillement. Ils ont montré aussi que la résistance au cisaillement augmente avec l'accroissement, jusqu'à 1%, de la teneur en fibres.

Narayanan et al [39] lors des essais sur des poutres armées traditionnellement (2 à 3% d'armatures), renforcées par des fibres métalliques, ont noté que:

- la résistance au cisaillement des bétons de fibres dépend de la géométrie, de la forme et du pourcentage des fibres. Ces paramètres peuvent être caractérisés par un facteur des fibres 'F' défini par la relation suivante :

$$F = V_f \cdot D_f \cdot l / d$$

Avec :

- V_f : pourcentage des fibres,

- D_f : facteur de l'efficacité de l'adhérence fibre matrice,

- l/d : élancement de la fibre.

- l'augmentation du facteur F permet d'améliorer la ductilité du comportement du béton au cisaillement,

- l'augmentation du pourcentage de fibres peut changer le mode de rupture au cisaillement en un mode de rupture à la flexion.

La rupture par cisaillement peut intervenir aussi dans le cas d'une poutre soumise à la flexion si le rapport a/d est compris entre 3 et 7 (a : distance entre le point d'application de la charge et l'appui, d : hauteur efficace de la poutre).

Conclusion

Dans cette partie nous sommes revenus sur les généralités des bétons et ses constituants. Où nous avons présenté les différents types de granulats et l'effet d'utilisation des adjuvants dans les bétons. Par la suite, nous nous sommes focalisées sur le béton de fibres, où nous avons donné les différents types de fibres, leur rôle dans le béton, ainsi que les applications essentielles des bétons de fibres.



Chapitre II
Etude de la composition du
béton

II.1 Introduction

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

Le béton est constitué de :

La composition du béton a une profonde influence sur ses caractéristiques ; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate. Les paramètres sont en effet nombreux :

– les données du projet : caractéristiques mécaniques, dimensions de l'ouvrage, ferrailage...

– les données du chantier : matériel de mise en œuvre, conditions climatiques...

– les données liées aux propriétés du béton : maniabilité, compacité, durabilité, aspect...

On mesure donc l'importance de l'étude de la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont élevées.

II.2 Composition du béton

Les bétons de construction composent du ciment, de l'eau, du sable, des granulats et des adjuvants (retardateurs ou accélérateurs de prise, réducteurs d'eau...etc.).

II.2.1 Le ciment

Le ciment est le constituant principal du béton. Mélangé à l'eau il forme la pâte qui enrobe les granulats et comble le vide entre les différents granulats. La pâte devient une colle en durcissant. On dit que c'est un liant hydraulique. Le mélange du ciment à l'eau (gâchage) provoque des réactions chimiques complexes d'hydratation entre les particules de ciment et l'eau. Ces réactions provoquent la croissance de cristaux sur les grains de ciments et entraînent un raidissement croissant de la pâte. Elles provoquent aussi la libération d'ions OH^- qui donne au ciment frais un pH basique de l'ordre de 13.

Le choix d'un ciment se fait suivant les critères suivants :

- Prestations élevées à court terme ex : CEM I 52.5R ou CEM III/A 52.5R1
- Température de bétonnage
- Temps froid : CEM I 52.5 ou CEM I 42.5

- Temps chaud : CEM III/C 32.5
- Présence de sulfates
- Prévention réaction alcali-silice...

Le ciment utilisé pour la confection de nos éprouvettes est de type CPJ-CEMII/B dans la classe 42,5 (figure II.1).

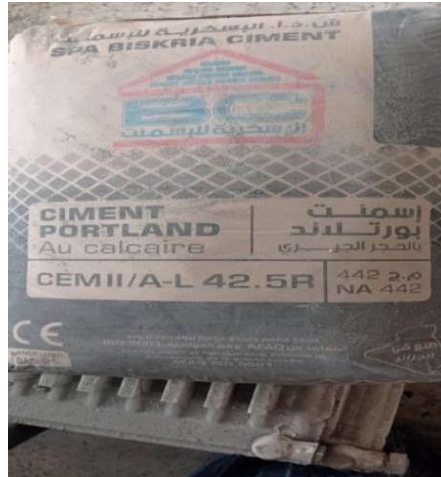


Figure II.1 CEM II / A-L 42.5 R

II.2.2 L'eau

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton (effet lubrifiant) dans la mesure où on n'abuse pas de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (dosage en ciment, granulats, consistance recherchée du béton frais) ; elle est en général comprise entre 140 et 200 l/m³. Il convient de tenir compte de l'eau apportée par les granulats. Il est souvent utile de contrôler la plasticité à l'aide d'essais simples connus.

Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ses performances : résistance mécanique à la compression, durabilité.

II.2.3 Les granulats

On peut distinguer les granulats naturels (roulés ou concassés) et artificiels. La gamme des granulats s'est considérablement étendue ; à côté des granulats courants, des granulats spéciaux sont apparus pour des usages spécifiques.

Les granulats doivent être des matériaux de qualité et satisfaire notamment deux exigences :

- la propreté, particulièrement importante pour les sables ; la teneur en fines argileuses est strictement limitée ;
- la granulométrie, propriété géométrique essentielle d'un granulat, dont le bon choix est déterminant dans la formulation d'un béton compact.

II.2.4 Les Sables

Il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats. Les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ...), de nature siliceuse ou silico-calcaire.
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites.

Ils sont anguleux et durs.

Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) :

- Sable de laitier.
- Sable d'oxydes de fer, de chromite.
- Sable de briques concassées.

Certains sables sont à éviter, notamment les sables très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins : jusqu'à 1,6 mm
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm
- Gros : jusqu'à 5 mm

Le sable que nous avons utilisé pour notre mélange provient de l'oued de diamètre maximum de 0,3 mm (figure II.2).



Figure II.2 sable 0.3mm

II.2.5 Les graves

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans le diamètre varie du plus petit au plus gros.

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières,) de nature siliceuse ou silico-calcaire.
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites.

Ils sont anguleux et durs.

Les granulats peuvent se classer selon les diamètres :

- Petits : de 3 à 8 mm (en tamis), soit 1mm (en passoire).
- Moyens : de 8 à 15 mm
- Gros : de 15 à 25 mm
- Très gros : de 25 à 40 mm

Les granulats que nous avons utilisés, sont de natures concassés et proviennent de SETIF.

Leur diamètre varie de 3 à 20 mm (figure II.3).



Figure II.3 Granulats utilisés

II.2.6 Les adjuvants

Les adjuvants sont de plus en plus utilisés. Ils améliorent les propriétés des bétons auxquels ils sont ajoutés, ils sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faible quantité. Ils améliorent les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés. Les principaux adjuvants sont :

- Les plastifiants : ils augmentent « l'ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton), améliorent la maniabilité et sont réducteurs d'eau.
- Les entraîneurs d'air (permettent la formation des micros bulle d'air dans le béton durci).
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

Le plastifiant que nous avons utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau appelé SiKa viscocrete (figure II.4). Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliorent considérablement les propriétés du béton. Ce plastifiant ne présente pas d'effet retardataire.



Figure II.4 super- plastifiant

II.3 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,063** et **125 mm**. On appelle :

- **REFUS sur un tamis** : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- **TAMISAT (ou passant)** : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

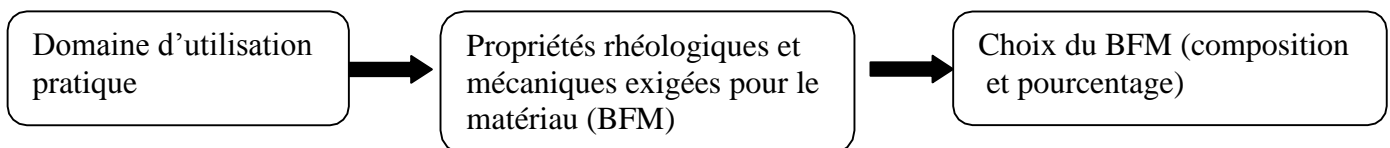
La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable, graviers) en produisant un béton dont l'ouvrabilité est

compatible avec les moyens de mise en œuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleurs caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait, bonne durabilité...).

Pour définir ces proportions, on doit passer tout d'abord à l'essai de l'analyse granulométrique puis choisir une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse, Joisel...etc.

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. L'ample intérêt que montrent beaucoup de domaines, pour les BFM, implique que leur adaptation pour chacun de ces domaines est impérative. C'est la raison qui fait que l'optimisation de la composition des BFM doit être pertinente et satisfaisante aux exigences de la fonction qu'ils doivent remplir. Ainsi le squelette granulaire doit être optimisé en fonction du type et du pourcentage en fibres incorporées.

Cette démarche méthodologique peut être schématisée comme suit :



II.3.1 Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisas sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique. la tamiseuse est présentée par la figure II.5



Figure II.5 Tamiseuse

II.3.2 Equipements utilisés

L'équipement utilise dans notre essai est composé de :

- Des tamis de différents diamètres.
- Un échantillon de 3000 g pour chaque matériau.
- Une balance de 5 kg, pesant au gramme près.
- Une étuve thermostatée.
- Un vibro-tamis électrique.

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

II.3.3 Description de l'essai

Les granulats utilisés pour préparer le béton sont de forme concassée, leur diamètre est de 0/3, 3/8 et de 8/15. Une fois ces matériaux sont lavés, ils seront après, séchés à l'étuve à une température maximale de 105°C. On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du front de la colonne vers le bas. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle –ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R_1 , la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit R_2 , la masse des deux refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n , aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé.

Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux (II.1, II.2, II.3) suivants :

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
5	29,00	29	1,93	98,07
2,5	262,50	291,50	19,43	80,57
1,25	375,50	667,00	44,45	55,55
0,63	364,00	1031,00	68,71	31,29
0,315	305,00	1336,00	89,04	10,96
0,16	143,00	1479,00	98,57	1,43
0,08	19,50	1498,50	99,87	0,13
Fond	2,00	1500,50	100,00	0,00

Tableau II.1 Analyse granulométrique du sable.

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
10	118	118	3,93	96,07
8	163	281	9,37	90,63
6,3	506	787	26,23	73,77
5	623	1410	47,00	53,00
4	596	2006	66,87	33,13
3,15	544	2550	85,00	15,00
2,5	313	2863	95,43	4,57
Fond	137	3000	100,00	0,00

Tableau II.2 Analyse granulométrique pour le gravier (3/8).

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
20	0	0	0.00	100.00
16	75	75	2.50	97.50
12,5	660	735	24.50	75,50
10	1010	1745	58.17	41.83
8	710	2455	81.83	18.17
6,3	425	2880	96.00	4.00
5	85	2965	98.83	1.17
Fond	35	3000	100.00	0.00

Tableau II.3 Analyse granulométrique pour le gravier (8/15).

Les valeurs des différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de granulats, voir figure II.6.

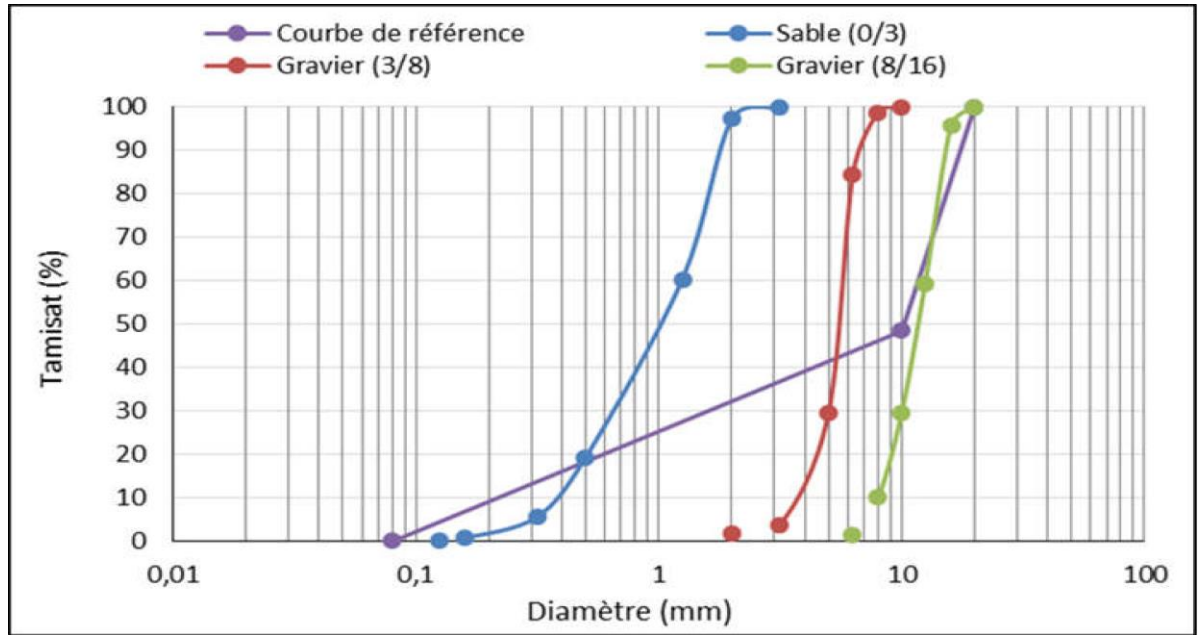


Figure II.6 Les courbes granulométriques pour chaque type de granulats

II.4 Module de finesse

C'est le centième de la somme des refus (exprimé en pourcentage de poids) de tamis 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,50 et 5mm.

Le module de finesse est particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique important.

$$M.F \text{ d'un sable} = \frac{\text{refus sur les tamis } 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,50 ; 5}{100}$$

$$M. F = \frac{98,57 + 89,04 + 68,71 + 44,45 + 19,43 + 1,93}{100} = 3.22$$

On peut noter que c'est un sable grossier qui correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées.

II.4 Composition du béton par Méthode de Dreux-Gorisse

Nous avons choisi cette méthode pour simplifier la forme de la composition du béton à peu près qui sera adoptée au béton étudié

II.4.1 Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir. Ainsi, la résistance visée doit être obtenue comme suit :

$$a_{28j}^Y = a_{28j} + 1.15a_{28j} \quad \text{Soit} \quad a_{28j}^Y = 1.15 a_{28j}$$

La résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours est telle que : $a_{28j}=25\text{MPa}$

La résistance visée est telle que : $a_{28j}^Y = 1.15 \times 25 = 28,75\text{MPa}$

II.4.2 Dosage en ciment et eau

La formule ci-dessous permet ainsi le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours :

$$f_c^Y = G F_{CE} \left(\frac{C}{E} + 0.5 \right)$$

Avec :

$$\frac{C}{E} = \frac{f_c^Y}{G F_{CE}} + 0.5$$

$f_c^Y = a_{28j}^Y$: Résistance visée à 28 jours.

S_c : Classe vraie de ciment en MPA.

G : Coefficient granulaire.

C : Dosage en ciment (Kg de ciment/m³ de béton).

E : Dosage en eau potable (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

• **Choix approprié du coefficient granulaire G**

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisi dans le tableau II.4.

Qualité granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤ 16mm	25 ≤ D ≤ 40mm	D ≥ 63mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Tableau II.4 Valeurs approximatives du coefficient granulaire.

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16mm, ce qui donne le coefficient granulaire $G=0.45$, courant et de avec une bonne qualité.

• **Choix de la classe vraie de ciment**

Parmi la liste des ciments disponibles sur le marché des matériaux de construction, nous avons retenu le ciment CEM CPJII42.5. Sa classe vraie est estimée à 47.5 MPA.

Le rapport $\frac{C}{E}$ donné par :
$$\frac{C}{E} = \frac{28,75}{0.45 \times 47.50} + 0.5 = 1.84$$

Dosage en ciment par m3 de béton

Connaissant le rapport $\frac{C}{E}$ et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce à l'abaque, $\frac{C}{E}$ en fonction de A, le dosage en ciment C correspondant:

$\left. \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1.84 \\ A = 8\text{cm} \end{array} \right\} \longrightarrow$ L'abaque donne la valeur E du dosage en ciment : C=380 Kg

$\left. \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1.84 \\ C = 380 \end{array} \right\} \longrightarrow$ On en déduit la valeur de E qui est : E=206.52 Kg

Tracé de la courbe granulaire de référence

Sur le même graphe d'analyse granulométrique, Type AFNOR (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis) déjà obtenu on trace une composition granulaire de référence OAB avec :

Le point O est repéré par ses coordonnées : [0.080 ; 0]

Le point B est repéré par ses coordonnées : [D ; 100], (D : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A a des coordonnées :

En abscisse :

- Si $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est de D/2

- Si $D > 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D. Le plus gros granulat est D= 16mm.

Donc le point de brisure en abscisse : D/2=8mm.

En ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés et le module de finesse de sable.

Comme le module de finesse de sable MF vaut 3.22, celui-ci est classé comme un sable grossier, la valeur du coefficient de correction K sera calculée par la formule suivante :

$$K=6Mf-15 \quad \text{Soit } K= 4.32$$

$$D'où, Y = 50 - \sqrt{16} + 4.32 = 50.32$$

Ainsi, les coordonnées de points de brisure A sont : [8 ; 50,32].

- **La ligne de partage**

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamis correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

On obtient donc un mélange optimal avec un volume absolu de 40,80 % de sable 0/3 et 59,20% de gravier (Gravier 3/8 : 9.40 % + Gravier 8/15 : 49,80 %). Sur la courbe granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent les pourcentages des granulats suivants :

- ✓ Sable 0/3 : 40,80 %
- ✓ Gravier 3/8 : 9.40 %
- ✓ Gravier 8/5 : 49,80 %

- **Coefficient de compacité**

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides au volume total du béton frais soit un mètre cube :

$$\gamma = \frac{V_M}{1000}$$

Avec $VM = V_S + V_G + V_C$

En utilisant le tableau valeurs du coefficient de compacité et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16mm, on trouve une valeur de $\gamma = 0.810$. Nous avons retenu une valeur de γ telle que : $\gamma = 0.819$.

II.5 Dosage des Granulats

Les dosages en volume de chacun constituant du béton sont donnés par les relations ci-dessous :

- Volume absolu du ciment : $V_C = \frac{m_C}{\gamma} = \frac{380}{3,1} = 122.58$ litres

Avec : m_C : dosage (en masse) de ciment

γ : 3.1 g/ml (masse volumique)

- Volume absolu des granulats (l'ensemble) : V_G

$$V_G = 1000 \gamma - V_C = 1000 \times 0,819 - 122,58 = 696.42 \text{ litres}$$

- ✓ Volume absolu du sable : $V_S = \frac{V_G S_{40,80}}{100} = \frac{696,42 S_{40,80}}{100} = 284.14$ litres
- ✓ Volume absolu du gravier (3/8) : $V_{G3/8} = \frac{V_G S_{9,40}}{100} = \frac{696,42 S_{9,40}}{100} = 65.46$ litres
- ✓ Volume absolu du gravier (8/15) : $V_{G8/15} = \frac{V_G S_{49,80}}{100} = \frac{696,42 S_{49,80}}{100} = 346.82$ litres

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m³ de béton sont donnés par

- Masse de sable : $M_S = V_S \times v_s = 284,14 \times 2.65 = 752.97 \text{Kg}$
- Masse de gravier 3/8 : $M_{G3/8} = V_{G3/8} \times v_{G3/8} = 65,46 \times 2.61 = 170.85 \text{Kg}$
- Masse de gravier 8/15 : $M_{G8/15} = V_{G8/15} \times v_{G8/15} = 346,82 \times 2.58 = 894.79 \text{Kg}$

Pour préparer 1m³ de béton, il faudra donc les masses suivantes (voir tableau II.5)

Constituants	Masse (kg)
Sable 0/3	753
Gravier 3/8	171
Gravier 8/15	895
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c)	380
Eau (E)	206.52
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00

Tableau II.5 Constituants du béton pour un volume de 1 m³.

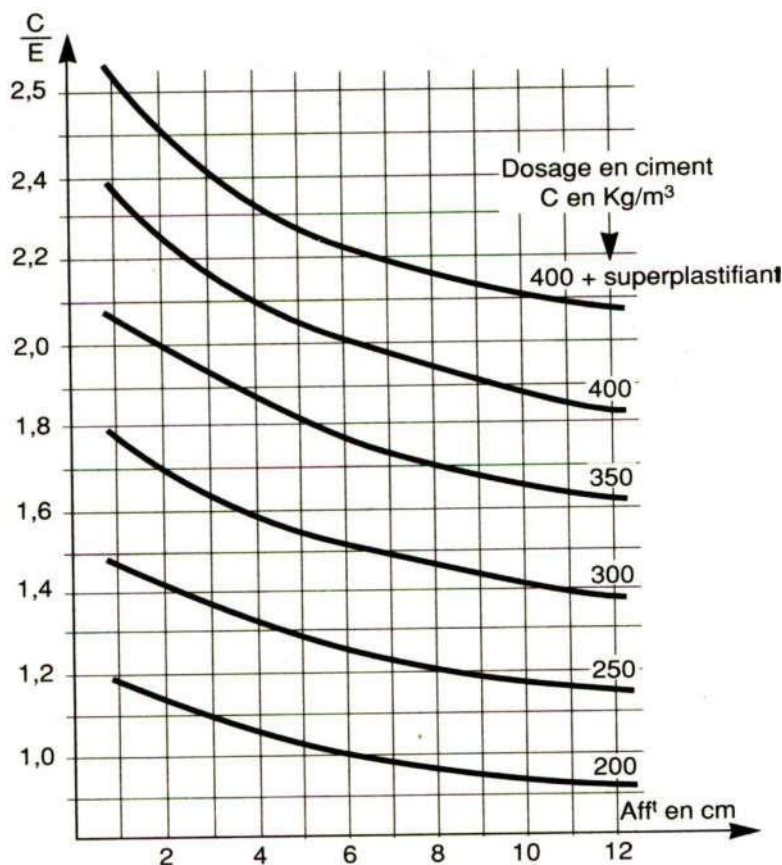


Figure II.7 Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

II.6 Masse volumique absolu et apparente

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Le volume absolu ne prend pas en considération les vides inclus et le volume apparent fait intervenir les vides intra et inter-granulaires. (Les masses volumiques sont présentées dans tableau II.6).

Granulats	Sable (0/3)	Gravier (3/8)	Gravier (8 /16)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.65	2.65	2.65
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.60	1.50	1.52

Tableau II.6 Masse volumique apparente et absolue des granulats.



Chapitre III
Caractérisation en traction
directe des fibres en copeaux

III.1 Introduction

L'utilisation des fibres pour le renforcement du béton est, notamment en traction, très intense dans le domaine des dallages industriels et dans celui du béton projeté dans le cas des tunnels et la réparation des canalisations de gros diamètre [1 à 4].

Dans la présente étude expérimentale, on s'intéresse à des fibres locales en copeaux de forme ondulée en spirales issues des déchets d'usinage des pièces en acier. Il s'agit de rechercher la longueur et le nombre d'ondulations optimums permettant de reprendre le maximum d'effort de traction. Une étude statistique est effectuée pour quatre longueurs et ondulations, respectivement.

III.2 Etude expérimentale

Les copeaux sont découpés selon quatre longueurs (30, 50, 70 et 80 mm) et pour chaque longueur, le nombre d'ondulations ou plutôt spirales est de 3, 5 et 7. Afin d'effectuer une étude statistique, pour chaque type de combinaison (longueur et nombre de spirales) le nombre d'essais réalisés est de 10. Les essais consistent à réaliser des essais de traction directe à déformation contrôlée. On donne dans ce qui suit les valeurs caractéristiques (contrainte de rupture, allongement maximal, module d'Young, limite d'élasticité et la courbe obtenue) ainsi que les confrontations effectuées.

III.3 Géométrie de la fibre et système d'ancrage

Les fibres proviennent des déchets d'usinage des pièces en acier. Elles sont récupérées à la société nationale des véhicules industriels en Algérie (SNVI). Leur forme géométrique et ondulée en spirales leur confère un ancrage parfait dans la matrice cimentaire. Une vue de ces copeaux est donnée à la figure 1. La largeur et l'épaisseur des fibres sont 2,20 et 0,88 mm, respectivement. Les deux extrémités des copeaux ont été ensimées à l'aide des fils en fibre et de rouleau de chatterton afin d'améliorer leur ancrage dans les mors de serrage de la presse hydraulique lors de l'essai de traction sur la fibre elle-même (voir Figure III.2).

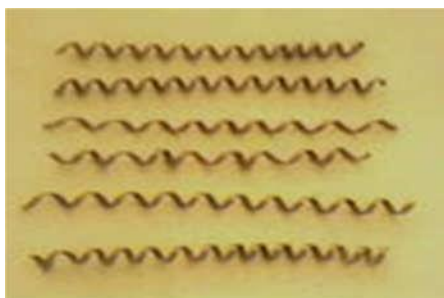


Figure III.1 Vue des copeaux.



Figure III.2 Système d'ancrage.

III.4 Appareillage et essais

Les essais sont réalisés sur une presse hydraulique à déformation contrôlée de type Ibertest (au laboratoire de modélisation des matériaux et structures de génie civil à l'université M.M. de Tizi-Ouzou en Algérie). La presse est équipée d'une chaîne d'acquisition et de commande de contrôle numérique (voir vue donnée à la figure III.3). Les caractéristiques géométriques sont introduites automatiquement et la longueur utile de la fibre est 100 mm. La vitesse de chargement est de 20 mm/mn. Un traitement statistique automatique est réalisé à la fin de chaque série d'essais.



Figure III.3 Vue du dispositif d'essai.

III.4.1 Présentation des résultats

Les courbes moyennées (trois essais pour chaque longueur), représentant la contrainte en fonction de la déformation pour chaque série d'essais (longueur de 30, 50, 70 et 80mm) et pour un nombre d'ondulations de 7, 5 et 3 pour chaque série ainsi que la représentation de ses résultats sous forme d'histogrammes sont données aux figures (4,5,6,7,8).

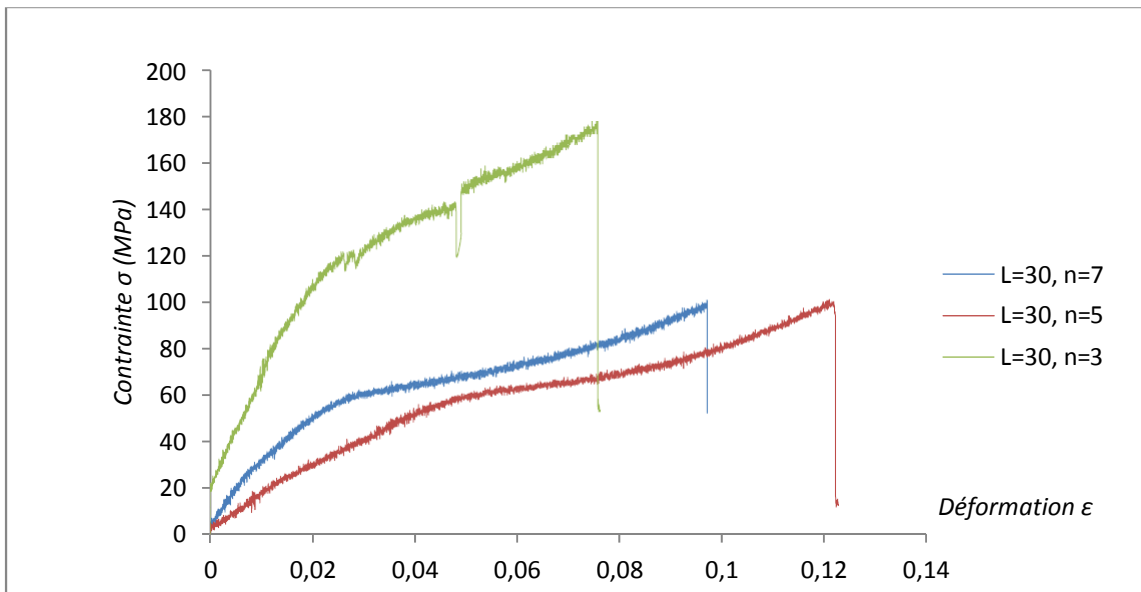


Figure III.4 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L=30\text{mm}$

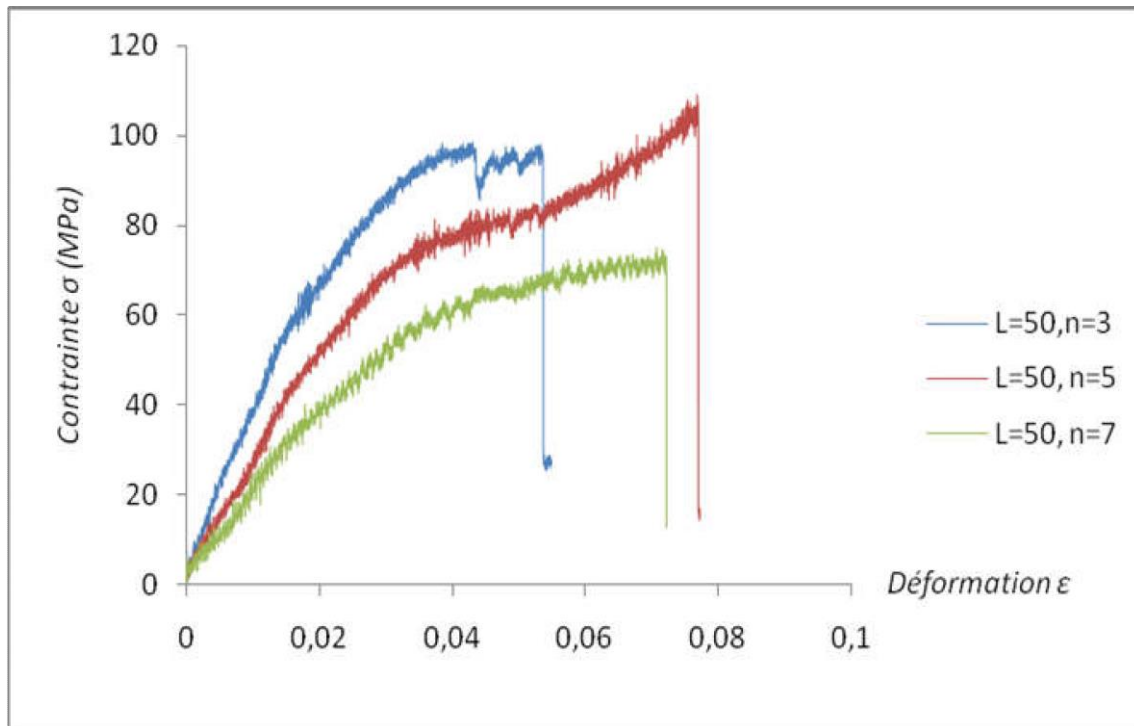


Figure III.5 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 50$ mm

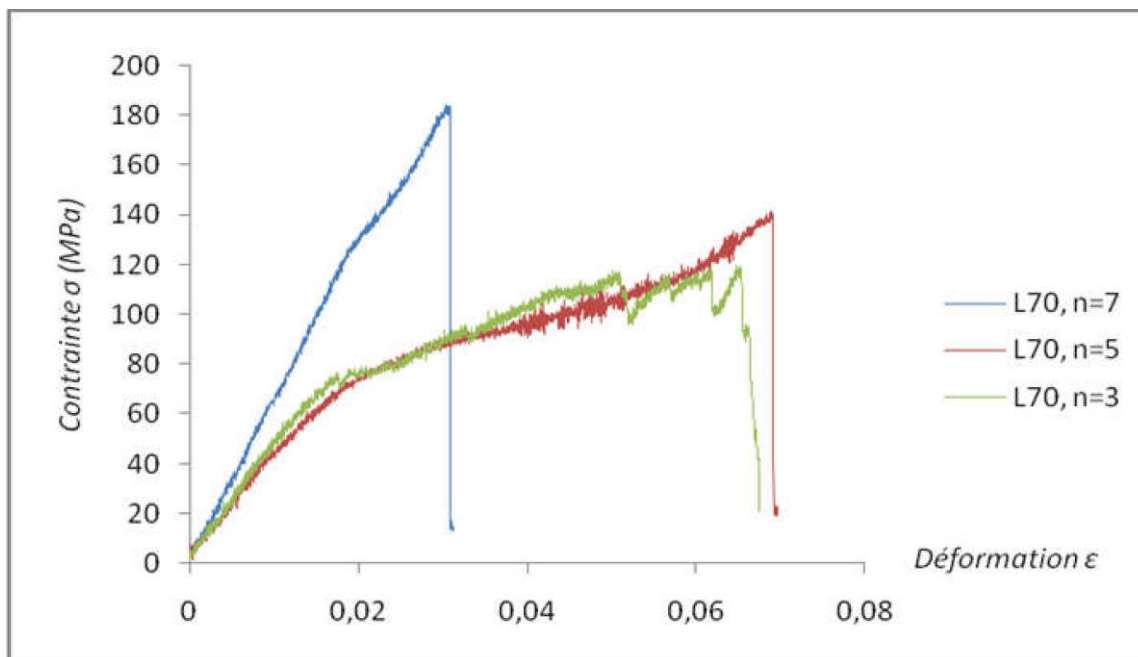


Figure III.6 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 70$ mm

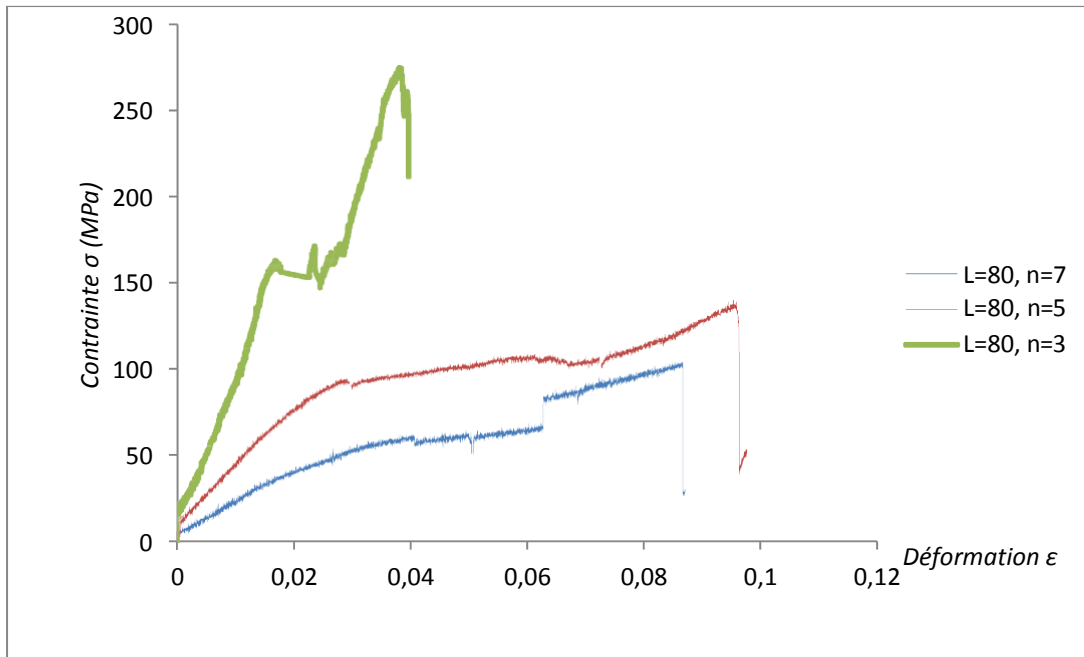


Figure III.7 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour L=80mm

On donne sur la figure III.8 superposition de meilleures courbes moyennes contrainte - déformation pour les quatre longueurs considérées et pour un nombre d'ondulations correspondant.

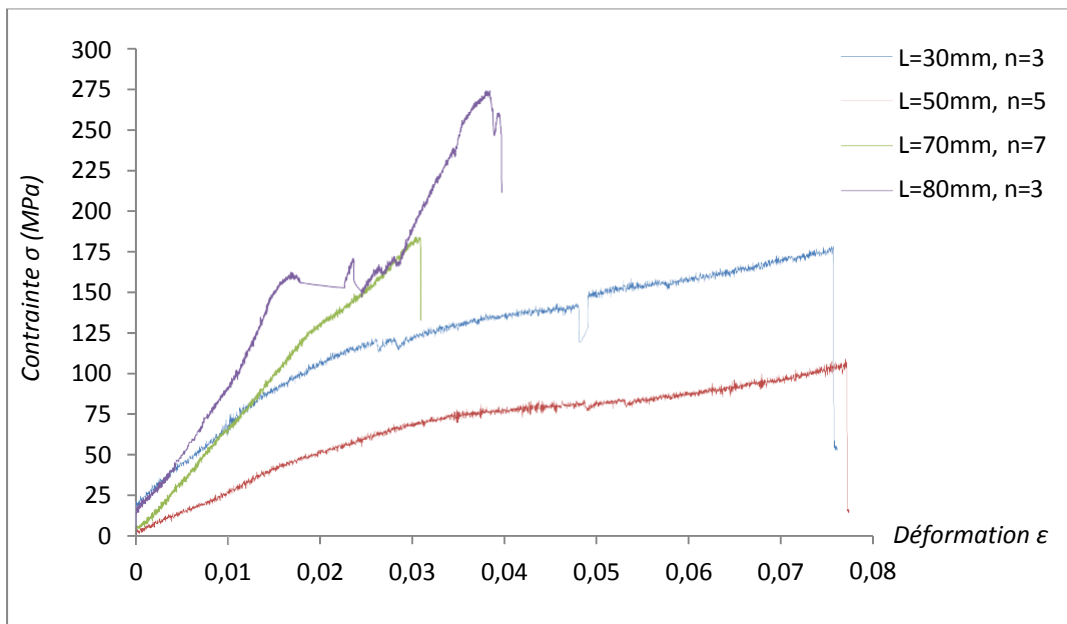


Figure III.8 Superposition des courbes $\sigma = f(\epsilon)$ pour les quatre longueurs

Lors de l'essai, on constate que les ondulations de la fibre s'ouvrent progressivement jusqu'à aplatissement de la fibre. Au-delà, on observe une rupture fragile de l'acier. La résistance à la traction atteint $R_m = 275 \text{ MPA}$ pour $n = 3$ et une longueur $L = 80 \text{ mm}$

III.5 Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'influence de la longueur des fibres et du nombre d'ondulations sur leur résistance en traction. Il apparaît que la meilleure résistance est atteinte pour une longueur de 80 mm avec 3 ondulations. Cependant, cette longueur peut être réduite jusqu'à 80 mm avec 3 d'ondulations et ce pour des raisons de maniabilité du béton à renforcer par ce type de fibres.

Lors de l'essai de traction, les ondulations ont plutôt tendance à s'aplatir avant que l'acier de la fibre s'allonge.



Chapitre IV
Essais de compression

IV L'ESSAIS DE COMPRESSION

IV.1 But de l'essai

L'objectif principal des essais de compression est la détermination de la résistance à la compression à l'Age de 28 jours « f_{c28} » du béton utilisé, évolution des diagrammes de la contrainte en fonction de la déformation

IV.2 Composition des éprouvettes

La composition du béton pour 1m^3 est pour une éprouvette cylindrique $[16*32]\text{cm}^3$, sont donnés le tableau IV.1

Constituants	Volume pour $[1\text{m}^3]$ kg	Pour une éprouvette $[16*32]$
Sable 0/3	753	4.90
Gravier 3/8	171	1.12
Gravier 8/15	895	5.82
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c)	380	2.47
Eau (E)	206.52	1.35
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00	1.24

Tableau IV.1 composition des éprouvettes

Pour chaque gâchée 03 éprouvettes cylindriques de $(16*32)\text{cm}^3$ sont confectionnées. Le malaxage se fait comme suit:

- Déverser le sable, gravier et ciment dans le malaxeur et mise en marche pendant 1 min environ jusqu'à homogénéisation, Introduire l'eau de gâchage et adjuvant et malaxage pendant 2min, le malaxage après l'ajout de l'eau et présenter par la figure IV.1



Figure IV.1 le mélange après l'ajout de l'eau

IV.3 Remplissage et vibration

IV.3.1 Éprouvettes cylindriques

Ceci doit se faire dans un moule en acier inoxydable Pour éviter l'effritement et faciliter le démoulage des éprouvettes, les moules sont enduits d'une huile à l'aide d'un pinceau.

On verse le béton ordinaire dans chaque des 3 éprouvettes qui sont ensuite mises sur une table

Vibrante pour durer d'environ 20 à 30 secondes ,voire la figure IV.2)



Figure IV.2 Vibration des éprouvettes

Le démoulage se fait après 24 heures à l'aide de quelques outils de démoulage (clés, marteaux tourne au vice...). Après le démoulage toutes les éprouvettes sont immergées dans un bac à eau pendant 28 jours à une $T^{\circ}=20^{\circ}\text{c}$, comme indiqué précédemment.

IV.4 Principe de l'essai

Les éprouvettes confectionnées, sont donc ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur étant fixe, le plateau inférieur sur lequel est posée l'éprouvette est mobile. En remontant celui-ci écrase le corps de l'éprouvette contre le plateau supérieur. Des extensomètres, placés sur la face latérale de l'éprouvette permet de mesurer les valeurs de la déformation. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante (soit $0,5\text{MPa/s}$). Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante sont enregistrées, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette quise traduit par l'arrêt de la presse.

L'essai de compression est ainsi achevé. La force maximale F est donnée dès que la rupture est enclenchée. Cette force est enregistrée et la contrainte de rupture en compression.

IV.5 Essais de compression

Dans le programme de compression des cylindres (16×32) cm^2 , le chargement axial a été effectué à l'aide d'une presse hydraulique AUTO TEST avec une étendue de capacité 2000 kN. Cette presse comporte 2 plateaux, un taux de chargement quasi-statique est appliqué avec une vitesse de 0,5 kN/s. A mi-hauteur au milieu de deux faces opposées, ont été mesurées, à intervalles rapprochés et les forces et les déformations axiales et radiales. Muni de mors auto-serrant, elle nous permet une bonne tenue des spécimens c'est une manière d'assurer une répartition homogène des contraintes. La figure IV.3 ci-dessous illustre le chargement et acquisition des résultats.



Figure IV.3 écrasement de l'éprouvette

IV.6 Résistance à la compression du béton

Les résistances mécaniques de ces éprouvettes ont été obtenues par le calcul de la moyenne des résistances (à 28 jours) des trois éprouvettes cylindriques du béton BT (sans fibres). Le mode de rupture des éprouvettes cylindriques testées ainsi que les courbes moyennes représentant la contrainte en fonction de la déformation donnée par trois essais sont données respectivement par les figures IV.4, IV.5, IV.6, IV.7



Figure IV.4 Rupture de l'éprouvettes béton témoin sous sollicitation de compression

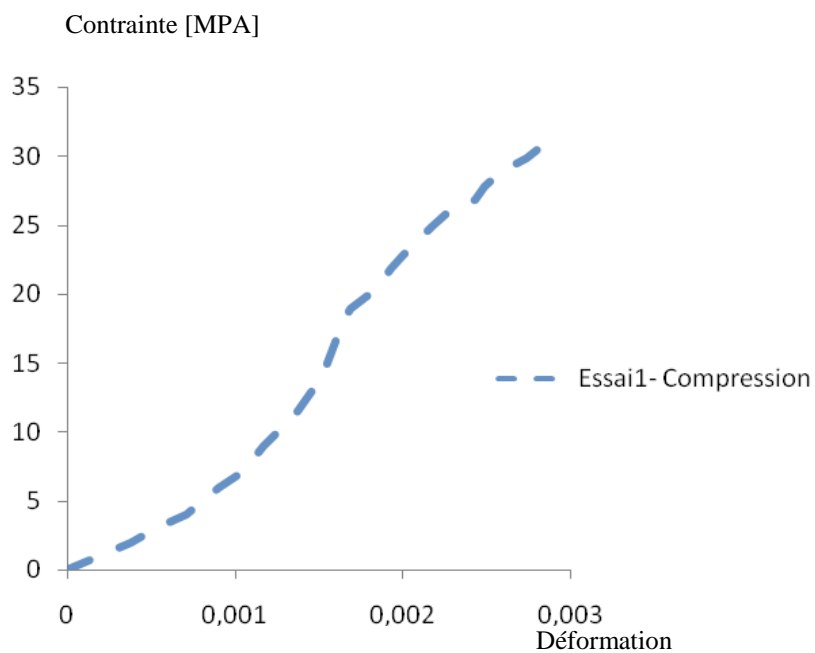


Figure IV.5 Courbe moyenne contrainte – déformation d'essai 1

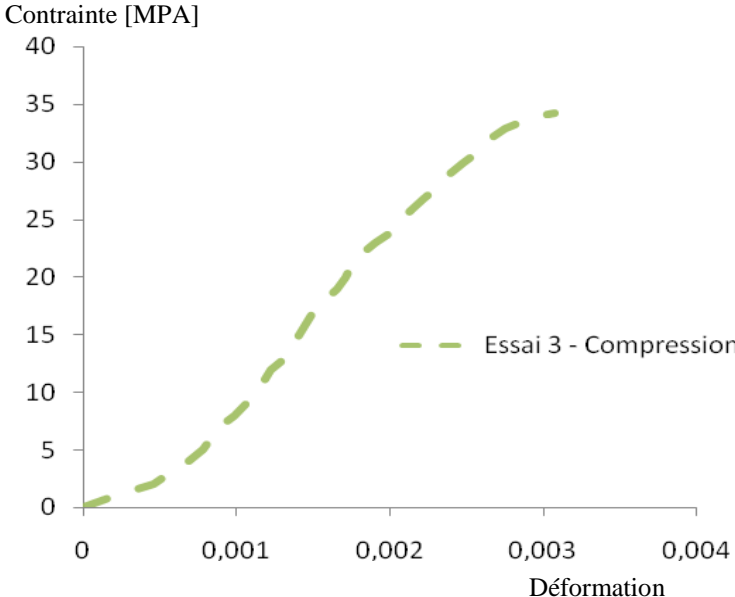


Figure IV.6 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 3

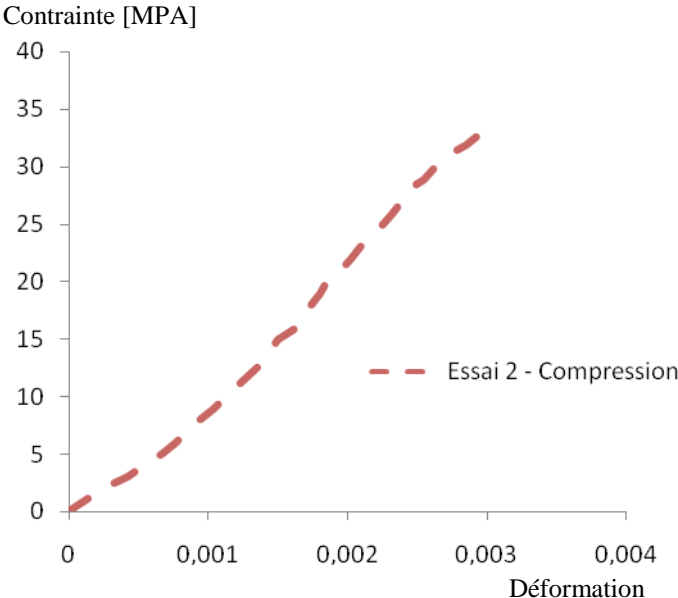


Figure IV.7 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 2

La figure IV.8 illustre la superposition des trois courbes moyennes qui présente la contrainte en fonction de la déformation des trois essais réalisés.

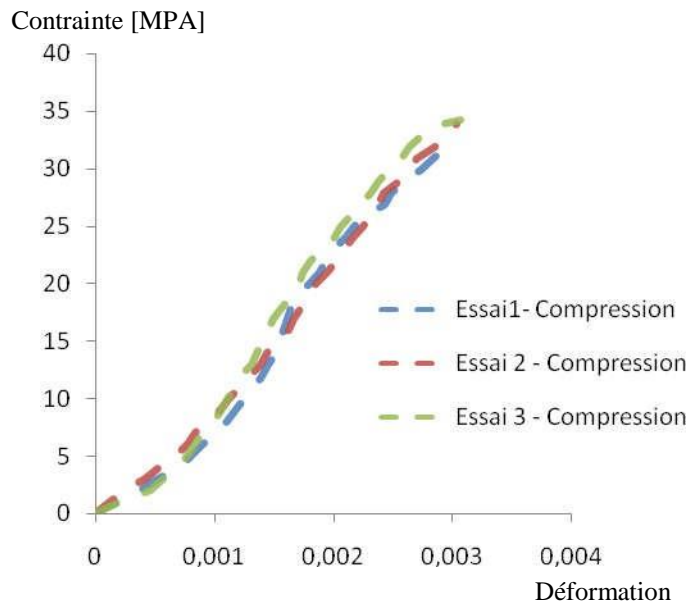


Figure IV.8 Superposition des Courbe moyenne contrainte – déformation

- Les contraintes maximales à la rupture de chaque essai sont résumées dans le tableau IV.2

Les essais de béton témoin	a [MPa]
Essai 1	31.05
Essai 2	33.83
Essai 3	34.20
La moyenne	33.02

Tableau IV.2 Contraintes maximales à la rupture de chaque essai



Chapitre V
Essais de flexion 3-points

V. Essais de flexion 3-points

Afin de suivre le comportement des dalles renforcées par des fibres en flexion (flexion 3- points), deux séries d'essais ont été réalisées. La première série d'essais (série 1) des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers), par contre la deuxième série d'essais (série2) des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM), une moyenne de (24) dalles ont été réalisées de dimensions [25x50x7] cm³. Les essais ont été réalisés au laboratoire de Génie-Civil sur la machine de type « Ibertest ».

V.1 Premières séries d'essais

Cette première série d'essais (série 1), consiste à suivre le comportement des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers) en flexion 3-points.

V.1.2 Géométrie et composition des dalles testées

V.1.2.1 Géométrie

Les dalles utilisées sont des dalles de largeur $l = 25\text{cm}$, longueur $L = 50\text{cm}$ et de hauteur (épaisseur) $h = 7\text{ cm}$ [25x50x7] cm³, la longueur des fibres utilisées est de $L = 8\text{ cm}$, les moules, dalles et fibres métalliques (copeaux) utilisées ainsi que le vibreur sont présentés par la figure V.1.



Figure V.1 Dalles, fibres utilisées ainsi que le vibreur et fibres longues utilisées ainsi que le vibreur.

V.1.3 Mise en œuvre des dalles renforcées par des fibres métalliques

La première série d'essais (série 1) des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers, les fibrés sont disposées aléatoirement dans la matrice cimentaire, pour cette première série d'essais 18 dalles ont été testées. 05 teneurs en

fibres retenus pour ces essais $W=0.2\%$, $W=0.4\%$, $W=0.6\%$, $W=0.8\%$, $W=1\%$], ainsi que un béton témoin BT ($W=0\%$) qui servent de référence.

V.1.4 Composition des éprouvettes

La composition optimale du béton pour un 1 m^3 , déterminée à partir la composition du béton. (Voir chapitre II), Les fractions volumiques optimums de fibres. La composition pour 1 m^3 et pour une dalle $[25 \times 50 \times 7]\text{ cm}^3$, est donnée dans le tableau.1 ci- dessous.

Constituants	Volume 1 m^3	Quantités
Sable 0/3 (Kg)	753	6.59
Gravier 3/8 (Kg)	171	1.50
Gravier 8/15 (Kg)	895	7.84
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c) (Kg)	380	3.33
Eau (E) (Kg)	206,52	1.81
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00	0.67

Tableau V.1 Composition optimisées pour 1 m^3 béton et pour une dalle $[25 \times 50 \times 7]\text{ cm}^3$

La masse pour les teneurs en fibres pour 1 m^3 de béton, ainsi pour une dalle de dimensions $[25 \times 50 \times 7]\text{ cm}^3$, sont données dans le tableau V.2.

Fraction volumique des fibres (W%)	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1%
Masse pour 1 m^3 (kg)	15.77	31.53	47.30	63.07	78.83
Pour une dalle $[25 \times 50 \times 7]\text{ cm}^3$	0.15	0.28	0.41	0.55	0.69

Tableau V.2 Masse des différentes teneurs en fibres pour 1 m^3 de béton et pour une dalle $[25 \times 50 \times 7]\text{ cm}^3$

V.1.5 Appareillage et essais

Les essais effectués, essais de flexion 3-points, sont réalisées sur une presse hydraulique à déformation contrôlée de type Ibertest au laboratoire de modélisation des matériaux et structures de génie civil à l'université M.M de Tizi-Ouzou en Algérie. La presse est équipé d'une chaîne d'acquisition et commande numérique (voire vus donnée à la figure V.2). Les

Caractéristiques géométriques des dalles testées sont introduites automatiquement. La capacité de la machine est de 200kN.



Figure V.2 Vue du dispositif d'essais « ibertest »

V.1.6 Description des essais

Afin de suivre le comportement du béton renforcé de fibre de récupération « fibres métallique », des essais de flexion 3- points (série 1) ont été réalisées sur des dalles [25x50x7] cm³. Les teneurs en fibres optimums retenues pour chaque série de test est fibres (W=0.2%, W=0.4%, W=0.6% W=0.8% et V=1%), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres W=0%).

V.1.7 Essais de flexion 3-point

Essais de flexion 3-points ont été réalisés sur des dalles de dimension [25x50x7] cm³ pour les différentes teneurs en fibres (W=0.2%, W=0.4%, W=0.6% W=0.8% et W=1%), ainsi que pour un béton témoin BT (sans fibres). Un total de 24 dalles a été testé. Les dimensions des dalles utilisées sont présentées par la figure V.3.

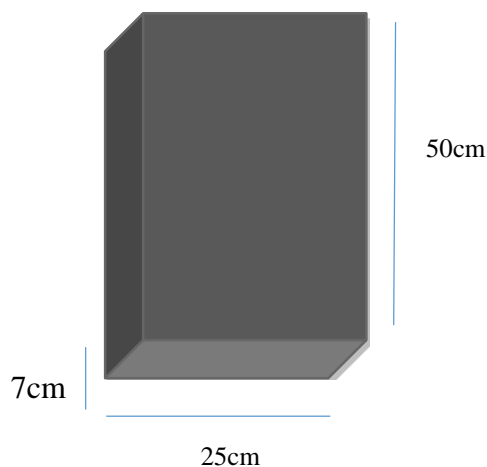


Figure V.3 dimension des dalles

La figure V.4 présente un exemple lors de d'essai flexion 3-points.



Figure V.4 Exemple d'essai flexion 3-points

V.1.8 Présentation des résultats et discussions

Après écrasement des dalles renforcées par des fibres en copeaux (FM), sur la machine de traction « IBERTEST », pour les différentes teneurs en fibres ($W=0.2\%$, $W=0.4\%$, $W=0.6\%$, $W=0.8\%$ et $W=1\%$), ainsi pour un béton témoin BT (sans fibres). Le mode de rupture des dalles testées ainsi que la superposition des courbes moyennes représentant la force en fonction de la flèche entrainée pour chaque teneur en fibres sont données par les figures V.5 et V.6.

V.1.9 Résultats des essais flexion 3-point

Figure V.5 illustre un exemple du mode de rupture des dalles testées lors des essais en flexion 3-point



Figure V.5 exemple du mode de rupture des dalles testées lors des essais en flexion 3-point

Les courbes représentant la force en fonction-flèche pour les différents teneurs en fibre ($W=0,2\%$ et $W=0,4\%$, $W=0,6\%$, $W=0,8\%$, $W=1\%$) et pour le béton témoin BT (sans fibres), sont données respectivement sous forme de graphe comme suit (figure V.6).

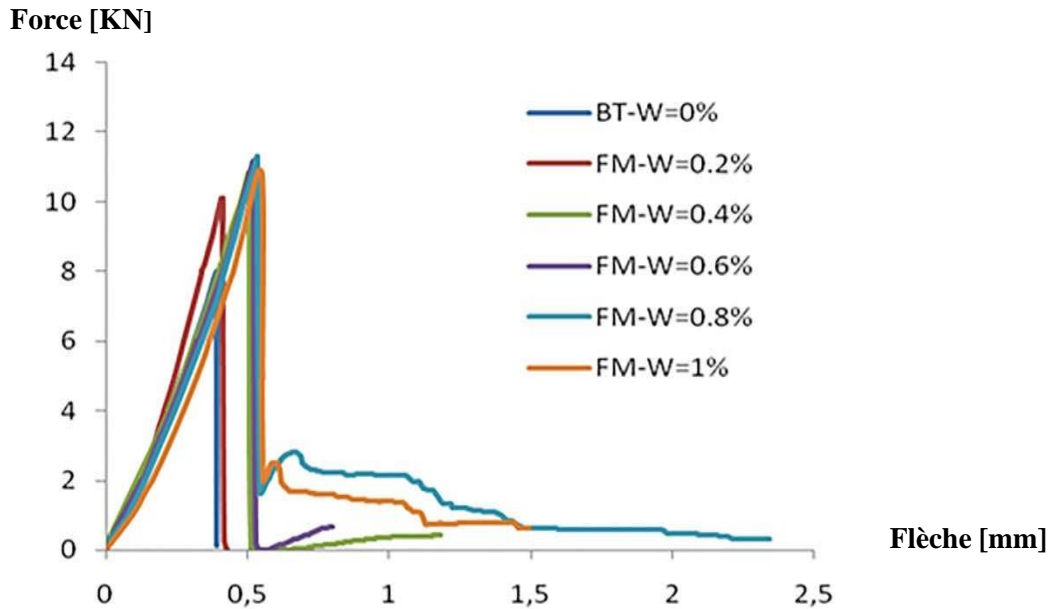


Figure V.6 Superposition des courbes Force-flèche pour les différents teneurs en fibres

D'après les résultats de la première série d'essais (Figure V.6) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées de fibres de récupération FM (déchets d'usinage des pièces en acier) testées, pour les teneurs en fibres, $W=0,2\%$, $W=0,4\%$, $W=0,6\%$, $W=0,8\%$ et $W=1\%$ et le BT (sans fibres), ainsi que d'après le mode de rupture de ces dalles testées (figure V.5) lors des d'essais en flexion 3-points, on à constater :

Les courbes obtenues (courbe V.1), montrent que le comportement des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) pour les teneurs en fibres $W=0,2\%$, $W=0,4$ et $W=0,6\%$ ainsi que le béton témoin BT (sans fibres) ont une rupture fragile, par contre les dalles avec des teneurs en fibres $W=0,8\%$ et $W=1\%$ ont une rupture ductile. Ça s'explique par les nombres important des fibres traversant les deux bords de la dalle (voir le mode de rupture de la Figure V.5).

Les courbes obtenues (courbe V.6), montrent que c'est un comportement en flexion simple, on remarque que la résistance et la rigidité en flexion des dalles avec une teneur en fibre $W=0,8\%$ et meilleur que les dalles avec des teneurs en fibres $W=0,2\%$, $W=0,4$, $W=0,6\%$ et 1% et les dalles sans fibres (BT).

Ces résultats obtenus montrent aussi que l'ajout des fibres avec des teneurs $W=0.8\%$ et $W=1\%$ confère une ductilité significative au matériau par rapport au béton témoin BT (sans fibres). D'autre part le comportement du béton de fibres en flexion, se caractérise par la présence de deux (2) phases.

1- Une phase linéaire correspondant à un comportement quasi – élastique du matériau, c'est la phase de pré fissuration du béton. Cette phase se termine par l'apparition de la macro fissure.

2- Une deuxième phase dans laquelle on observe une chute brutale, sans rupture brusque de la dalle, de la capacité portante du matériau, c'est la phase post fissuration. Dans cette phase la matrice béton rompt et les bords de la fissure sont reliés par les fibres (voir figure V.5) ce qui permet d'éviter une rupture brutale.

Ces résultats de la première série (Figure V.6) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles avec une teneur en fibres $W=0.8\%$ ($F_r=11.32$ KN) est augmenté d'environ 42 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ($F=8.00$ KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 36 %.

Le tableau V.3 résume les forces (charges) à la rupture en flexion des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) testées (série 1) pour les différents teneurs en fibres ($W=0.2\%$ et $W=0.4\%$, $W=0.6\%$, $W=0.8\%$ et $W=1\%$), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

Teneurs en fibres (%)	BT $W=(0\%)$	$W=0.2\%$	$W=0.4\%$	$W=0.6\%$	$W=0.8\%$	$W=1\%$
Force à la rupture (KN)	8.00	10.08	10.82	11.18	11.32	10.78

Tableau V.3 Forces à la rupture en flexion des dalles testées (série 1).

V.2 Deuxième série d'essais en flexion 3-point

L'objectif principal de cette études expérimentales de la deuxième série (série 2), consiste à réaliser des essais qui permettra de suivre le comportement en flexion des dalles en béton renforcées par des grilles polypropylènes petite maille (GPP/PM) et des grilles polypropène grande maille (GPP/GM) sous un chargement de flexion.

-Pour mettre en évidence l'influence des dimensions de la maille de la grille sur la capacité portante de la dalle renforcée de fibres de polypropène, deux variantes ont été considérées dans cette étude :

Variante1 : Dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (G PP/PM).

Variante2 : Dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de grandes mailles (G PP/GM).

Les Types des grilles en fibres polypropylène utilisées sont présentés par la figure V.7. Les dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées sont données par le tableau V.4.

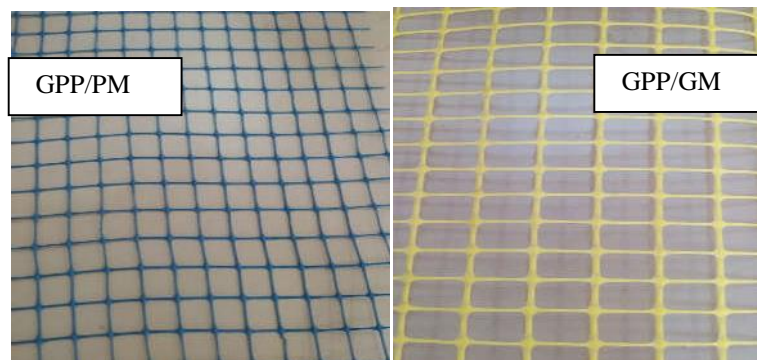


Figure V.7 Types de grille utilisées

Dimensions	(GPP/GM)	(GPP/PM)
Longueur [mm]	30	30
Largueur [mm]	23	13
Épaisseur	0.3	0.1

Tableau V.4 Dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées

V.2.1 Géométrie et composition des éprouvettes

V.2.1.1 Géométrie des dalles

Les dalles utilisées ont un largeur $l = 25$ cm, une hauteur (épaisseur) $h = 7$ cm et une longueur $L = 50$ cm, [25x50x7] cm, les dimensions des grilles sont coupées selon les dimensions de la dalle, le coffrage et les grilles utilisées sont présentées par la figure V.8



Figure V.8 Coffrage et grilles utilisées

V.2.1.2 Mise en œuvre des dalles renforcées des grilles polypropylène

Le coffrage utilisé pour la réalisation des dalles, constitué d'un moule en bois démontables, il a été imprégné par un agent démoulant pour faciliter le décoffrage des spécimens après la prise du béton. Les dalles armées ont été confectionnées en respectant la procédure qui consiste à réaliser les cinq (05) étapes, dans l'ordre établi. Pour assurer la continuité de la matrice béton, il est recommandé, à chaque étape, de réaliser une vibration du béton, à l'aide d'un vibreur. Deux variantes d'essais ont été observées dans cette étude, dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM), et une deuxième variante des dalles renforcées par des grilles de grandes mailles (GPP/GM). Chaque dalle est renforcée a grilles de même nature, comporte trois (épreuves réalisées à partir de la même gâchée du béton.

Les étapes à respecter sont :

1. Coulage de la première couche de béton (couche d'enrobage).
2. Pose de la première nappe de la grille.
3. Coulage d'une autre couche de béton.
4. Pose de la deuxième nappe de la grille.
5. Coulage de la dernière couche de béton (couche de surface).

V.2.1.3 Description des éprouvettes

En tenant compte des dimensions de la machine d'essai de type ELE (IBERTEST) de capacité de 200 KN, disponible au laboratoire, avec laquelle on a effectué les essais de flexion (flexion3-points) sur les dalles, On a opté pour la réalisation des dalles de dimensions [25x50x7] cm³. La disposition des fibres en grilles polypropylènes pour les

deux variantes (GPP/PM) et (GPP/GM) sur toute la hauteur de la dalle sont présentées respectivement par les figures V.9 et V.10.

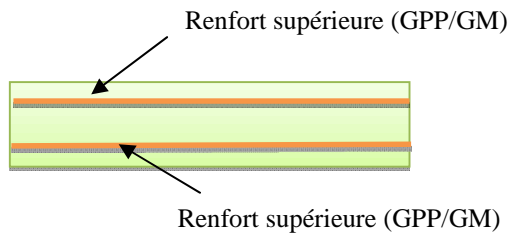


Figure V.9 Coffrage et grilles utilisées

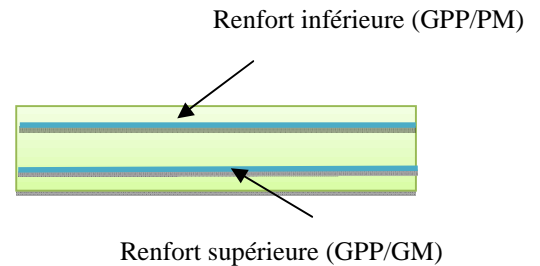


Figure V.10 Coffrage et grilles utilisées

V.2.2 Présentation des résultats et discussions

Après écrasement des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petite maille (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) (Série 2), sur la machine de traction « IBERTEST », ainsi pour un béton témoin BT (sans fibres). Les courbes moyennes représentant la force en fonction de la flèche, pour chaque type de grille en polypropylène ainsi pour un béton témoin qui servent de référence (BT),

La figure V.11 illustre le mode de rupture du béton témoin BT (sans fibres).



Figure V.11 Mode de rupture du béton témoin BT

La figure V.12 présente la courbe moyenne force en fonction de la flèche pour les dalles sans fibres (BT).

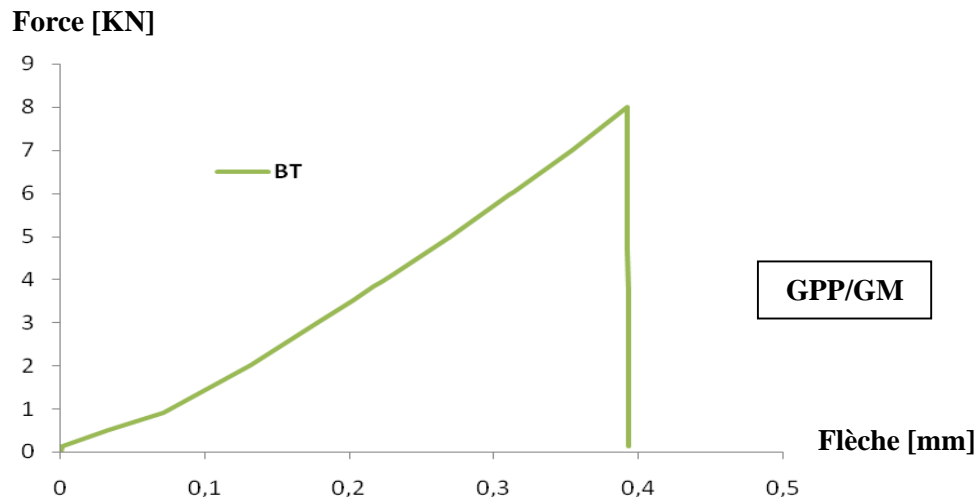


Figure V.12 Courbe Force-flèche pour le Béton témoin BT (sans fibres)

La figure V.13 illustre le mode de rupture des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM)



Figure V.13 Mode de rupture de dalles (GPP/PM)

La figure V.14 présente la courbe moyenne force en fonction de la flèche pour les dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM).

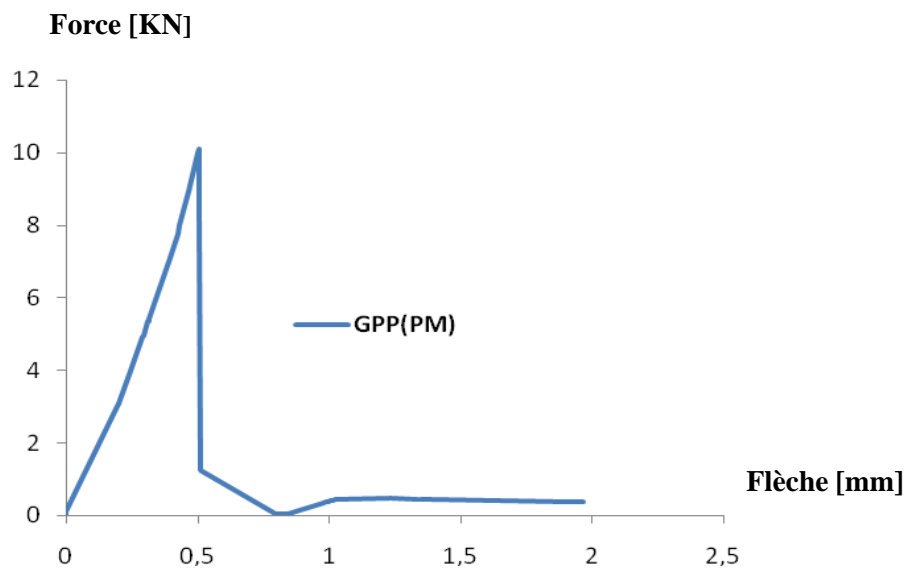


Figure V.14 Courbe Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en polypropylène (GPP/PM)

La figure V.15 illustre le mode de rupture des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM).



Figure V.15 Mode de rupture de dalles avec des (GPP/GM)

La figure V.16 présente la courbe moyenne force en fonction de la flèche pour les dalles renforcées avec des fibres en polypropylène de petites mailles (GPP/GM).

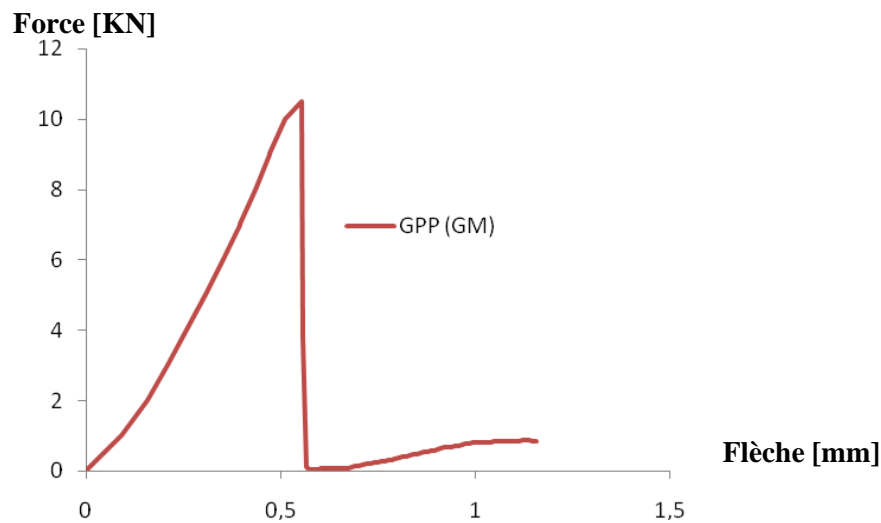


Figure V.16 Courbe Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en polypropylène (GPP/GM)

La figure V.17 illustre la Superposition des courbes Force-flèche pour les deux grilles en Polypropylène (GPP/PM) et (GPP/GM), ainsi que et le béton témoin BT (sans fibres).

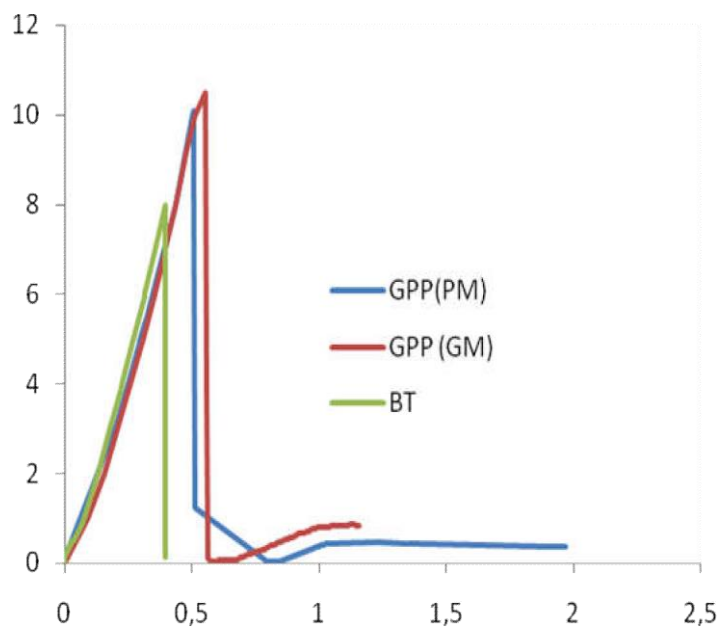


Figure V.17 Superposition des courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles polypropylène

D'après les résultats de la deuxième série d'essais (Figure V.17) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites maille (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) testées ainsi que BT (sans fibres), le mode de rupture pour les deux grilles est une rupture fragile (Voir Figures V.12 et V.15).

Les courbes obtenues (Figure V.17), montrent que la résistance et la rigidité en flexion des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GPP/GM) est meilleur que les dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) dalles sans fibres (BT).

Ces résultats de la deuxième série (Figure V.17), nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GM) ($F_r=10.49\text{KN}$) est augmenté d'environ 31 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ($F=8.00\text{KN}$). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 41.32 %.

Le tableau V.5 résume les forces (charges) à la rupture en flexion des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylènes petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM) testées (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

Teneurs en fibres (%)	BT (W= 0%)	GPP/PM	GPP/GM
Force à la rupture (KN)	8.00	10.08	10.49

Tableau V.5 Forces à la rupture en flexion des dalles testées (série2).

La figure V.18 illustre la superposition de meilleures courbes obtenues en flexion par les dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (série 1) et les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène grande maille (GPP/GM) et des (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

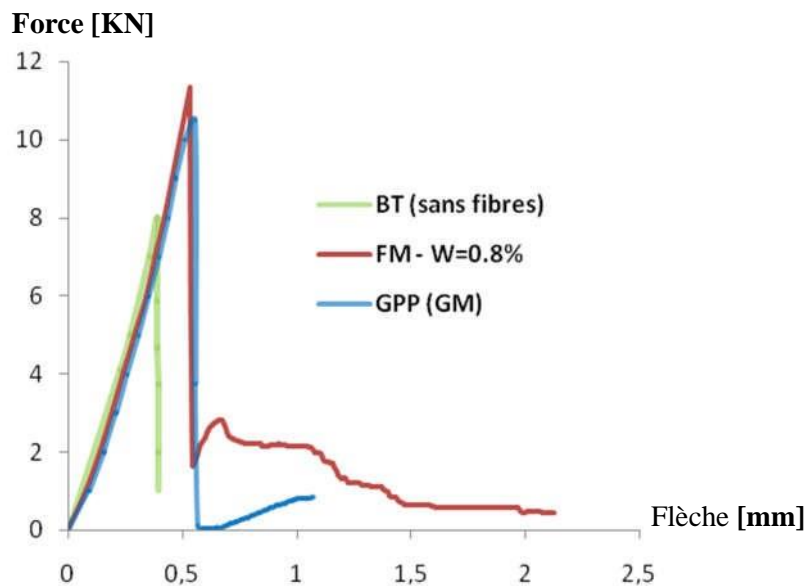


Figure V.18 Superposition des meilleurs courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques

D'après la figure V.18 On constate bien que la résistance et la rigidité en flexion des dalles renforcées avec des fibres de Métallique (FM) avec une teneur en fibre $W=0.8\%$ est meilleure que les dalles renforcées avec des grilles en polypropylène de petite maille (GPP/PM) et Grande maille (GPP/GM). On constate aussi que le mode de rupture des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) a un comportement ductile après fissuration du béton, par contre les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène de petite et grande maille ont un comportement fragile après fissuration du béton.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le béton armé de fibres présente des caractéristiques mécaniques lui permettant une utilisation industrielle dans le domaine de la construction et des travaux publics. L'évolution de la réponse de ce matériau à des sollicitations de traction le rend particulièrement intéressant. Parmi les facteurs influençant son comportement en traction on peut noter :

- La géométrie des fibres utilisées.
- L'adhérence fibres - matrice de béton.
- Le pourcentage des fibres
- L'orientation des fibres.

Toutefois, il en existe certaines applications pour lesquelles le béton armé classique n'est pas le mieux recommandé du fait qu'il aura à subir les désagréments des situations les plus craintes telles que la difficulté de mise en place des cages d'armatures dans certaines pièces en béton armé (Pieux), l'insuffisance de l'enrobage dans les pièces minces (dallages)...etc. Afin de pallier à ces difficultés, les gens du domaine font appel à d'autres matériaux, et c'est exactement là qu'interviennent les bétons de fibres.

Devant ce fait, cette étude expérimentale a été menée dans le but de saisir et comprendre l'impact ou l'effet que peut avoir l'introduction des fibres ondulées en spirales issues des déchets d'usinage des pièces en acier FM « copeaux », dispersées aléatoirement, ainsi que les fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/GM) et de grandes mailles sur le comportement du béton en flexion (flexion3-point).

La méthode expérimentale « Dreux-Gorisse », nous a permis de déterminer la composition du béton pour un 1m^3 .

Les essais de compression sur des cylindres de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm effectués sur une presse hydraulique de type AUTOTEST nous ont permis de nous ont permis de déterminer les propriétés mécaniques du béton utilisé.

Les essais réalisés afin de caractériser le comportement mécanique des fibres métalliques ont permis de mettre en évidence l'influence de la longueur des fibres et du nombre d'ondulations sur leur résistance en traction. Il apparaît que la meilleure résistance est atteinte pour une longueur de 80 mm avec 3 ondulations.

Pour les essais réalisées sur des dalles renforcées de fibres métallique (FM) (série 1) et les dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande mailles (GPP/GM) (série 2), à fin de suivre leur comportement en flexion. Les résultats des essais effectués en flexion montrent que l'ajout des fibres métallique (FM) pour une teneur en fibre $W=0.8\%$ confère une ductilité significative au matériau par rapport au

Conclusion générale

béton témoin BT (sans fibres), ainsi que par rapports aux autres pourcentages, dont on a obtenus des ruptures ductiles au lieu de ruptures fragiles. Ces résultats de la première série (série 1) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles avec une teneur en fibres $W=0.8\%$ ($F_r=11.32$ KN) est augmenté d'environ 42 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ($F_r=8.00$ KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 36 %. Par contre les résultats des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande mailles (GPP/GM) (série 2), ont une rupture fragile.

La comparaison des résultats obtenus en flexion 3-points, sur des dalles renforcées avec des fibres de Métallique (FM), ainsi que les dalles renforcées avec des grilles en polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM). D'après la figure.18 on constate bien que la résistance et la rigidité en flexion des dalles renforcées avec des fibres de Métallique (FM) sont meilleures que les dalles renforcées avec des grilles en polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM).

Les perspectives envisagées dans ce contexte sont :

Le travail présenté dans cette thèse nécessite comme tout projet, des raffinements afin de pouvoir obtenir d'autres résultats importants et de tirer des conclusions encore plus précises.

- Afin d'améliorer les résultats obtenus sur le béton renforcé par des fibres métalliques (FM) et les fibres polypropylènes. En s'intéressant à certains paramètres tel que :
- Pour les fibres métalliques (FM), La disposition des fibres en éventuellement passer à des fibres longues orientées.
- Disposition des fibres en grille polypropylènes il faut faire des essais on fait changer la disposition des grilles sur la hauteur de la dalle.
- La géométrie des fibres (plates, ondulées), réaliser des essais avec des fibres plates au lieu qu'ondulées afin de diminuer les vides (cavités) dans la pâte cimentaire.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- [1] GILLE CHANVILLARD. « Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'aciers tréfilées ancrées dans une matrice cimentaire », études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, série ouvrage d'art OA12, 1993.
- [2] G.BERNIER, Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur.C2 210
- [3] ABSI, E."Béton de fibres, synthèse des études et recherches réalisées au CEBTP", Annales de l'ITBTP N°520, 1994.
- [4] Pascal Casanova. Bétons renforcés de fibres métalliques : Ecole nationale de, Paris, 1995.
- [5] F.GABRYSIK, Matériaux –Les Bétons chapitre 04.
- [6] D.R. LANKARD & H.D. SHEETS; « Use of steel wire fibres in refractory castables”. Am. Cer. Soc., Vol. 63, No.7, 1971»
- [7] DGM09/UMBB « Mémoire chapitre V le bétons-fibres » 2011 -2012
- [8] COTTERELL B., MAI Y.W. « Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie Academic & Professional », London/Chapman and Hall. p. 294. 1996
- [9] Gopalaratnam V.S., SHAH S., « Failure Mechanisms and Fracture of Fiber Reinforced Concrete, Fiber Reinforced Concrete – Properties and Applications », SP 105, ACI, Detroit, Michigan, pp 1-25. 1987
- [10] Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI Nadia : « caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi-Ouzou le 30/11/2010.
- [11] BOUZEROURA, M., « Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation ». Magister en génie civil- Université de Tizi-Ouzou, 2003.
- [12] ROSSI P., ACKER P., MALIER Y., « Effect of steel fibres at two different stages: the material and the structure », Materials and structures, vol.20 pp. 436- 439. 1987
- [13] SHAH P.S., « Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes » ACI Materials Journal, V.88, No.6, pp. 595-602. 1991
- [14] BEAUDOIN J.J., « Handbook of Fiber Reinforced Concrete. Principles, Properties, Developments and Applications », Noyes Publications, Park Ridge, NJ, pp.332. 1990
- [15] Yun H.D., Yang I.S., Kim S.W., Jeon E., Choi C.S., Fukuyama H « Mechanical properties of high-performance hybrid-fibre-reinforced cementitious composites (HPHFRCCs) », Magazine of Concrete Research, 59, No. 4, May 2007, pp.257–271. 2007
- [16]. DHONDE H.B., Mo Y.L., Hsu T.T.C., « Fiber Reinforcement in Prestressed Concrete Beams », Technical Report 0-4819-1. Performed in Cooperation with the Texas Department

Références bibliographiques

of Transportation and the Federal Highway Administration Project 0-4819 Department of Civil & Environmental Engineering University of Houston, Texas December 2005.

[17]. BARON J., LESAGE R., « Méthode expérimentale de composition des bétons hydrauliques », Bulletin de liaison de LPC, Juillet-août 1976, N° 84, pp 130-140.

[18]. ROSSI P., HARROUCHE N., « Mix design and mechanical behaviour of some steel-fibre reinforced concretes used in reinforced concrete structures », Materials and Structures, 1990, Vol. 23, pp. 256-266. 1990

[19]. FRITIH. Y. « Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé ». Doctorat en génie civil- Université de Toulouse, 2009.

[20]. LÖFGREN I., « Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction - a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis, PhD-thesis, Department of Civil and Environmental Engineering Structural Engineering », CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden.2005

[21]. SOROSHIAN, P.; LEE, C.D., Distribution and orientation of fibers in steel fiber reinforced concrete. ACI Materials journal, n°87, M44, Vol87 n°5, p433-439, Sept-Oct 1990.

[22] El Houssain Rochdi ; Contribution à l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton armé renforcées par matériaux composites ; thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1, France 2004.

[23]. ABSI, E. « Béton de fibres, synthèse des études et recherches réalisées au CEBTP », Annales de l'ITBTP N°520, 1994.

[24]. BERNIER, G. « Composition, rhéologie, mise en œuvre et composition du béton de fibres métalliques » C.R. journées ENS CACHAN MRES 22-25 nov.1988, Composite cement fibre ; 19p 1988

[25]. KACHI, M.S « Calcul non linéaire jusqu'à rupture, d'une section en béton armée de fibres métalliques », Thèse de magister, université M. MAMMERI de Tizi-Ouzou, fév. 1997.

[26]. BERNIER, G. « Caractérisation et contrôle des bétons renforcés de fibres », Annales de l'ITBTP N°494, 1991

[27]. JEJCIC, O.; ZANGHLLINE, F., Mortier et ciment armé de fibres : une étude bibliographique, Annales de l'I.T.B.T.P., Suppl. n°347, Série matériaux 51, pp. 46- 87, 1977.

[28]. ROSSI, P. ; HARROUCHE, N. ; BELLOC, A. « Méthode de composition des bétons de fibres métalliques », Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°475 juin-juillet 1989, série Béton 266.1989

Références bibliographiques

- [29]. ZHAN, Z. (1991), « Contribution au dimensionnement des pieux en béton de fibre », Thèse de doctorat, université d'Orléans, 1991
- [30]. ROSSI, P. « Formulation et comportement mécaniques des bétons armés de fibres métalliques ». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°492, pp 90 – 101, Mars-Avril 1991, série Béton 279,1991.
- [31]. CHERGUI, N., « Caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux », Mémoire de magister en génie civil, Université M. MAMMERI de TIZI – OUZOU, 2010.
- [32] SERNA ROSS, « Etude de la contribution des fibres métalliques à l'amélioration du comportement du béton au cisaillement ». Thèse de doctorat de l'ENPC, 1984.
- [33]. BOUAFIA, Y.; FOURE, B.; KACHI, M .S. « Relation effort- ouverture des fissures dans le cas du béton armé de fibres d'acier », Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°2, avril 1998.
- [34] Groth P., « Fibre reinforced concrete - Fracture mechanics méthode applied on self-compacting concrete and energetically modified binders, PhD-thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology ».2000
- [35] Alcantara M. Béton auto-plaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC 2004
- [36] Alcantara M., Mouret. M.,Pons. G. Granju.J-L. “Self-compacting concrete with hybrid fiber reinforcement: workability and mechanical behavior”, 4 th International Symposium on Self-Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Chicago, USA. 2005
- [37]. ELHACHEM, M., « Etude de l'influence de la fibre de fonte sur le fluage et le retrait du béton ». Thèse de docteur de l'E.C.P. février 1990.
- [38]. VALADE, TH. Comportement des bétons armés de fibres métalliques. Mémoire de recherche développement, ENS de CACHAN, Déc. 1987.
- [39]. NARAYANAN, R., DARWISH, Y.S.Use of steel fibre as shearreinforcement. ACI structural journal, n°84, s23, pp 216-227, May-June 1987