



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE «ABBES LAGHROUR» DE KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de Génie Civil

N° de série :...

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Génie civil

Option : Structures

Etude comparative sur l'influence des fibres sur la résistance du béton

Réalisé par : -KADI Fawzi
- BOUDJEMAA Fouad

Dirigé par : Dr. MESSAS Tidjani

Présenté le 24/09/2020

Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu DIEU

Miséricordieux qui m'a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

J'adresse ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur

Tidjani MESSAS Qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement durant l'évolution de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude

- **A** tous les enseignants et le personnel du département de génie civil de l'Université Abbès Laghrour - Khenchela

- **A** toute ma famille

- **A** tous mes amis de l'université et au travail

Enfin, Que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation trouveront ici ma profonde reconnaissance.



Dédicace

À la mémoire de mon père allahyerhmou

À ma mère

À ma femme et à mon fils djoud

À tous les membres de ma famille notamment mes frères et mes sœurs.

A tous les enseignants du département de génie civil.

A tous mes amis,

Je dédie ce modeste travail.

Kadi fawzi



Dédicace

À mon père

À ma mère

À tous les membres de ma famille notamment mes frères et mes sœurs.

À tous les enseignants du département de génie civil.

À tous mes amis,

Je dédie ce modeste travail.

Boudjema foud

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES BETONS ORDINAIRESET BETONS FIBRES	3
I-1-1 Historique	3
I-2 Définition de béton fibré.....	4
I-2-1 Historique et perspective de l'utilisation des fibres	5
I-3 Généralités sur les fibres.....	6
I-3-1 Les fibres	6
I-3-2 Différents types de fibres	6
I-3-2-1 Les Fibres végétales	6
I-3-2-2 Les Fibres de verre.....	7
I-3-2-3 Les Fibres de polypropylène	7
I-3-2-4 Les Fibres métalliques	8
I-3-2-4-1 Les Fibres d'acier	9
I-3-2-4-1-1 Les Fibres Euro-Steel	9
I-3-2-4-1-2 Les Fibres Bekaert de Chez Dramix.....	9
I-3-2-4-1-3 Les Fibres Harex	9
I-3-2-4-1-4 Les fibres Ruban en Fonte Amorphe de Pont-à-Mousson	9
I-3-2-4-1-5 Les Fibres à Tête d'encrage en Acier Tréfile	9
I-3-2-4-1-6 Les Fibres de Beki –Shield.....	9
1-4 Propriétés des fibres	10
1-4-1 La notion de fibres structurales.....	10
1-4-2 Le facteur d'élancement	10
1-4-3 La performance	10
1-4-4 La valeur de résistance résiduelle	10
1-4-5 La distribution des contraintes mécaniques.....	11
1-4-6 La résistance à l'abrasion.....	11
1-4-7 Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres.....	12
1-5 Utilisation des fibres dans le béton	12
1-5-1 Rôle des Fibre dans le Béton	12
1-5-2 Amélioration des caractéristiques mécaniques.....	13
1-5-3 Contrôle de la fissuration de retrait	13
1-5-4 Avantages du béton fibré	14
1-5-5 Domaines d'utilisation du béton de fibre.....	14
1-6 Comportement mécanique des bétons de fibres.....	17
1-6-2 Résistance des bétons de fibres en compression.....	19

Conclusion du chapitre	23
CHAPITRE II CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX	24
II-1 Introduction	24
II-2 Matériaux utilisés	24
II-2-1 les granulats.....	24
II-2-1-1 définition.....	24
II-2 -1-2 analyses granulométriques des deux graviers 4/8 et 8/16.....	24
II-2 -1-3 les courbes et fuseaux granulaires des deux graviers 4/8 et 8/16	25
II-2 -1-4 coefficient d'aplatissement	26
II-2 -1-5 Los Angeles	27
II-2 -1-6 Micro-Deval.....	28
II-2 -1-7 masse volumique apparente et absolue des deux graviers 4/8 et 8/16.....	29
II-2 -2 le sable.....	30
II-2 -2-1 définition.....	30
II-2 -2-2 analyses granulométriques de sable 0/4.....	31
II-2 -2-3 la courbe granulométrique et fuseaux granulaires du sable 0/4.....	31
II-2 -2-5 équivalents de sable	32
II-2 -2-6 masse volumique absolue et apparente du sable.....	33
II -2-3 le ciment utilisé	34
II-2-3-1 définition.....	34
II-2-3-2 composition minéralogique et caract. physiques (voire fiche technique).....	34
II-3 résultats tableau général des granulats+sables	34
II-3-1 le super plastifiant GLENIUM 26.....	34
II-3-2 Eau de gâchage.....	35
CHAPITRE III FORMULATION DU BETON	36
III-1 introduction	36
III-2 Les différentes méthodes de composition des bétons :	36
III-3 La méthode de DREUX-GORISSE	36
III-4 étapes de formulation Méthodes de - DREUX GORISSE.....	37
III-4-1 Résistance visée	37
III-4-2 Choix approprié du coefficient granulaire G	37
III-4-3 Choix de la classe vraie de ciment.....	38
III-4-5 Tracé de la courbe granulaire de référence.....	39
III-4-6 La ligne de partage.....	40
III-4-7 Coefficient de compacité	40
III-4 -8 Les volumes des Granulats et ciment	41
III-4-9 Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable ; ciment et l'eau).....	

pour 1 m ³ de béton sont	42
III-4-10 Calculer et tracer la courbe de mélange.....	42
III – 5 les caractéristiques de Fibre métallique utilisée selon la fiche technique	43
III – 6 compositions des trois formulations du béton	44
III – 6-1 tableau des compositions du bétons pour un mètre cube de béton	44
III – 6-2 Tableau de composition du béton pour le volume requis pour l’essai soit 0.01m ³	44
III – 7 Préparation des bétons et conduite des essais	44
III – 7-1 Malaxage et mise en place	45
III – 7-2 Mesure de la température du béton et température ambiante	45
III – 7-4 Mesure de la masse volumique des bétons à l’état frais	47
III – 7-5 Fabrication des éprouvettes.....	47
III – 7-6 Conservation	48
CHAPITRE IV ESSAIS MECANIQUES.....	49
IV-1 Essai de compression.....	49
IV-2 Evolution de la résistance durant le temps.....	49
IV-3 Effet du dosage des fibres métalliques sur la résistance à la compression du béton	50
Conclusion:.....	51
IV-4 La phase de rupture du béton après l’essai de compression	51
IV-5 Influence des fibres métalliques et leur dosage sur la masse volumique du béton.	52
IV-6 étude comparative	52
IV-6-1 Introduction	52
IV-6-2 Présentation des résultats d'analyse pour le gravier et le sable pour l'étude comparative	53
IV-6-3 Comparaison de la composition du béton à partir des rapports G/S et E/C	53
IV-6-4 Résultats d’essais et discussions (essai de compression)	54
Conclusion générale	55

LISTE DES FIGURES

Figure –N°01-Rôle des fibres dans la matrice de béton [2]	5
Figure –N°02-: Différentes formes de fibres	7
Figure –N°03- Fibres de verre	7
Figure –N°04- Les Fibres de polypropylène	8
Figure –N°05- fibre métallique	8
Figure –N°06- Essais de l'ASTM C 1018 [06]	11
Figure –N°07- Fissuration dans le béton sans et avec fibres [06]	12
Figure – N°08-Comportement de charge déformation de béton avec et sans fibres [06]	13
Figure –N°09- Texture d'un béton fibré [06]	14
Figure –N°10- : Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre [07]	17
Figure –N°11-:Géométrie d'une fibre contraintes de matrice sur une longueur y [05].....	18
Figure–N°12- : Courbe contrainte déformation en compression simple (SERNAROS, 1984) [08].	17
Figure –N°13- : Influence du dosage en fibres lors d'u essai de compression [05]....	20
Figure –N°14- : Courbe contrainte déformation des essais de compression faits sur des éprouvettes asservies [08].....	20
Figure –N°15- : Diagrammes effort-déplacement en compression en fonction du type et du pourcentage en fibres [05]	21
Figure –N°16-: Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion [08].....	22
Figure –N°17-: Matériels nécessaires pour L'analyse granulométrique	24
Figure –N°18-: tamis normalisés à mailles et tamis à fontes de longueur normalisés	26
Figure –N°19 - : machine Los Angeles	27
Figure –N°20 - : machine Micro Deval	28
Figure –N°21 - : Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente des graviers	29
Figure –N°22 - : Mesure de la masse volumique absolue des graviers.....	30
Figure –N°23 - : Mesure de la propreté du sable (ES).....	32
Figure –N°24 - : 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)	39
Figure –N°25-: bétonnière de laboratoire utilisée.....	45
Figure –N°26- : Thermomètre digital utilisé pour la mesure de la température.....	45
Figure –N°27- : cône d'Abram's.....	46
Figure –N°28- : Bassin de conservation des éprouvettes	48
Figure–N°29-:évolution de la résistance à la Compression pour le béton témoin.....	49
Figure –N°30-: évolution de la résistance à la Compression pour le béton fibré 0,6%.....	49
Figure –N°31-: résistance évolution de la Compression pour le béton fibré 1,2%.....	50
Figure –N°32-:Effet du dosage en fibres métalliques sur la résistance à la compression du béton	50

Figure –N°33:-Fissuration brutale des éprouvettes en béton ordinaire et sa ruine à l'état de rupture	51
Figure –N°34:-Influence du dosage des fibres métalliques sur la masse volumique du béton	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 :Facteur d'éclatement. [06]	10
Tableau 02 : Domaines d'application privilégiés par type de fibres [05].....	15
Tableau 03 : Intérêt apporté par domaines d'application [05]	16
Tableau 04 : Analyse granulométrique du gravier 4/8	25
Tableau 05 : Analyse granulométrique du gravier 8/16	25
Tableau 06 : Analyse coefficient d'aplatissement des deux graviers 4/8 et 8/16	27
Tableau 07 : Analyse de Los Angeles sur fraction	28
Tableau 08 : Analyse de Micro Deval	29
Tableau 09 : Les valeurs de la masse volumique apparente et absolue des graviers 4/8 et 8/16	30
Tableau 10: Analyse granulométrique du sable 0/4.....	31
Tableau 11: les résultats d'équivalents de sable	33
Tableau 12 : Les valeurs de la masse volumique apparente et absolue du sable 0/4.....	33
Tableau 13 : résultats tableau général des granulats+sables	34
Tableau 14 : Caractéristiques physico-chimiques du super-plastifiant GLINIUM26	35
Tableau 15 : les résultats de l'analyse chimique de l'eau	35
Tableau 16 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire	38
Tableau 17 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams	40
Tableau 18 : Coefficient de compacité	41
Tableau 19 : Les coordonnées de la courbe de mélange.....	42
Tableau 20 : caractéristiques de Fibre métallique utilisée	43
Tableau 21 : compositions des bétons BO et BFM pour un mètre cube.....	44
Tableau 22 : compositions des bétons BO et BFM pour le volume requis pour l'essai.....	44
Tableau 23 : Température ambiante lors du coulage des bétons	46
Tableau 24 : Récapitulatif des résultats des essais d'affaissement.....	46
Tableau 25 : la masse volumique expérimentale et théorique	47
Tableau 26 : essai de compression pour notre étude	49
Tableau 27 : Masse volumique des différents bétons	52
Tableau 28 : Propriétés physico-mécaniques des granulats utilisés.....	53
Tableau 29 : les résultats (rapports) de deux études.....	54
Tableau 30 : Compositions du béton pour l'étude comparative	54
Tableau 31 : essai de compression simple pour l'étude comparative	54

LISTE DES COURBES

Courbe 01 : fuseaux granulaires et la courbe granulométrique de gravier 4/8	25
Courbe 02 : fuseaux granulaires et la courbe granulométrique de gravier 8/16	26
Courbe 03 : fuseaux granulaires et la courbe granulométrique du sable 0/4	31
Courbe 04 : courbe de référence et courbe de mélange	43

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

$M_v \gamma_a$: masse volumique apparente

$M_a \gamma_s$: masse volumique absolue

f_{c28} : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 j)

f_{cv} : la résistance visée à 28 jours

Fct : classe vraie de ciment en MPA.

G : coefficient granulaire

m³ : Mètre cube

mm : Millimètre

MPa : Méga Pascal

Rc : Résistance à la compression

Es ou E.S : Equivalent de sable

ESV : Equivalent de sable visuel

D : Diamètre maximum ;

G/S : rapport Gravillon sur Sable

E/C : rapport Eau sur Ciment

MVR : Masse Volumique Réelle

BFM : béton de fibres métallique

BO: béton ordinaire

BT: béton témoin

MF: module de finesse

MVR : Masse Volumique Réelle

NF : Norme Française

LA (%) : los angles

A (%) : coefficient d'aplatissement

MDE (%) : micor-Deval en présence d'eau

LNHC : LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

ASTM : American society for testing material

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton reste un matériau moderne, par ses nombreuses qualités il présente une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, mais sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la microfissuration limite son utilisation et fait qu'il doit être renforcé dans la majorité de ces applications. L'intérêt de renforcement de béton par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis à la traction. L'intérêt des fibres est d'agir comme des armatures « diffuses » à l'intérieur du béton, permettant de répartir la fissuration. Elles sont plus efficaces que les armatures traditionnelles vis-à-vis des fissures « de service », de faibles ouvertures, mais ne permettent pas de reprendre en ultime des efforts aussi importants que les armatures. Leur efficacité est également d'autant plus grande que l'épaisseur de la structure est plus faible. En effet, les structures les moins épaisses tendent à présenter des fissures plus fines et plus réparties que les structures de grande hauteur. Pour la même raison. L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres métalliques permet non seulement d'améliorer le comportement en flexion et en traction, mais également la résistance à la compression du béton. L'introduction des fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à l'abrasion. Les fibres métalliques ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton soumis à l'abrasion et ralentir la dégradation. Les résultats obtenus par les différents chercheurs, concernant l'amélioration des performances mécaniques de béton fibré sont obtenus majoritairement en utilisant une plasticité différentes, C.-à-d. un taux de super plastifiants constant quel que soit la quantité des fibres incorporé. Toutes les études confirment la difficulté de mise en œuvre ou bien perte de maniabilité, c'est-à-dire qu'un béton dosé à 1% de fibre n'a pas la même maniabilité qu'un béton dosé à 2 % de fibre. Et donc il paraît que la comparaison d'un béton plastique à un béton ferme ou mou est une hypothèse qui aboutisse à de conclusions douteuses, sachant que le super plastifiants apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire. Parmi les paramètres qui influent sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la distribution des fibres et leur orientation. Ce paramètre est lié directement à l'état d'ouvrabilité de béton, donc il serait plus judicieux de comparer les différents dosages en fibre avec la même maniabilité (même plasticité), et ce afin de donner les mêmes chances de distribution et orientation des fibres dans la matrice de béton et pour avoir un mélange propice à l'obtention de la même dispersion des fibres. C'est dans cette optique que s'insère notre travail qu'on a dressé en quatre parties.

La première partie fera l'objet d'une revue de la documentation scientifique offrant une présentation générale concernant le béton ordinaire et le béton fibré, plus les types des fibres et sa composition.

La deuxième partie est consacrée à la caractéristiques des matériaux et les Matériaux utilisés laquelle on a décrit brièvement.

INTRODUCTION GENERALE

La troisième partie est la méthode de formulation « DREUX GORISS », utilisé pour la détermination des composants de béton .

Et dans la quatrième partie, nous faisons des essais sur le béton, et en même temps nous comparons le béton ordinaire avec du béton fibré. et D'autre part nous ajoutons une comparaison du béton fibré à une étude externe avec du béton fibré pour notre étude .

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES BETONS ORDINAIRES ET BETONS FIBRES**I-1 Définition de béton ordinaire**

Le béton est un matériau composite fabriqué à partir de granulats naturels (sable, gravillons) ou artificiels (granulats légers) agglomérés par un liant. Le liant peut être qualifié d'« hydrique », lorsque sa prise se fait par hydratation. Ce liant est appelé couramment « ciment » ; on obtient dans ce cas un « béton de ciment » un des plus souvent utilisés. On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du « béton bitumineux ». Lorsque les granulats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de « mortier ». On peut largement optimiser la courbe granulaire du sable, auquel cas on parlera du « béton de sable ». Il peut être utilisé tel quel ou renforcé par des armatures.

On parle alors de béton armé, précontraint, fibré, ... Des constituants complémentaires comme les adjuvants sont incorporés à faible dose dans le mélange. Ils ont pour action de provoquer les modifications recherchées de ses propriétés à l'état frais ou durci. Il se présente sous deux états physiques successifs : tout d'abord sous la forme d'un mélange plus ou moins liquide, le béton frais, puis progressivement sous la forme d'un matériau solide, sorte de pierre artificielle, le béton durci. Le premier état permet la mise en place du béton dans son contenant (coffrage, moule). Cette faculté d'ouvrabilité est caractérisée par la consistance.

Le deuxième constitue le produit fini. Proposé sous la forme et l'aspect souhaité, il doit notamment fournir les résistances mécaniques exigées tout en assurant la durabilité.

I-1-1 Historique

Le béton avait pris ses pas après le mortier. Il est à noter que le mortier serait très ancien citant les colonnes d'Egypte, en pierre artificielle qui date de 3600 ans avant notre ère. Les plus anciens mortiers reconnus sont ceux des maçonneries de remplissage, des pyramides et ceux des citernes et de tombeaux étrusques.

Ce sont les Romains qui développèrent l'art des mortiers de chaux grasses, en y associant la pouzzolane (cendre du Vésuve à Pouzzoles) pour la prise hydraulique et qui en fixèrent la technique. Dans cette période, du règne de la chaux grasse, à durcissement trop lent pour permettre la tenue du béton en élévation, il ne fut employé que pour les aires (routes, dallages, planchers...) et les fondations. Vicat obtint systématiquement les chaux hydrauliques en 1818 en partant de calcaires argileux. Le ciment ne fut utilisé qu'à partir du milieu du XIXème siècle pour les bétons en élévation.

Coignet exécuta, en 1847, le premier immeuble en béton coffré, puis des pièces moulées et en 1852 un plancher avec poutrelles en fer et en béton coulé (terrasse à Saint- Denis).

Le béton armé de fers ronds apparut en 1848, avec le bateau Lambot, le béton armé s'est étendu ensuite à toutes les constructions portantes chargées. Entre 1930 et 1950, on construit les premières réalisations en béton précontraint. Ce nouvel essor est apporté par Eugène FREYSSINET.

Les premières études systématiques sur les bétons eurent lieu en France et sont dues aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées :

- Les travaux de R.Féret sont considérables. En 55ans, il donne près de 200 publications sur les liants, les mortiers, les bétons, mais son étude de 1892. Complétée par celle de 1896 et qui n'a pas de correspondance nulle part, était déjà déterminante pour la découverte des lois du béton.
- En 1925 Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Fuller sur la granulométrie et composition.
- Le Clerc du Sablon en 1927 a fait une étude de résistance liée à la compacité du béton.
- En 1937, A.Caquot met en évidence l'effet de paroi des moules.
- En1940, R.Valette a fait une étude de la résistance des bétons en fonction du rapport Gravier/sable. G/S
- En 1942, Faury donna une étude générale du béton et proposa une nouvelle granulation type, variante assouplie des granulations continues antérieures Actuellement, les recherches et les études sur les bétons ne cessent d'évoluer, dans le but d'améliorer leurs performances et aussi pour les rendre plus économique.

I-2 Définition de béton fibré

On appelle béton de fibre, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion direct de fibres isolées au moment du gâchage ou de la projection. Les fibres sont assimilables à un granulats spécial de forme très allongée et de forte résistance à la traction, 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.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton en modifiant ses propriétés. Les fibres sont des éléments discontinus, de nature variable, répartis dans la matrice et ayant une orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres sont capables d'arrêter et de coudre les fissures (**Figure –N° 01-**)Elles permettent aussi d'améliorer le comportement post-fissuration du béton. Les fibres jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture des microfissurations et la macro fissuration. Elles ont de plus, la capacité de transférer les charges, dès lors qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée La distribution homogène des fibres dans le béton est donc la condition principale pour pouvoir parler d'un béton renforcé uniformément, avec les mêmes caractéristiques dans tous les points de la matrice. Par ailleurs, les fibres constituent une sorte de granulats filiforme gênant l'assemblage optimal du squelette des granulats. La géométrie des fibres, leur dosage, ainsi que la mise en place du matériau frais, sont des paramètres affectant très fortement le comportement global du matériau durci. [2]

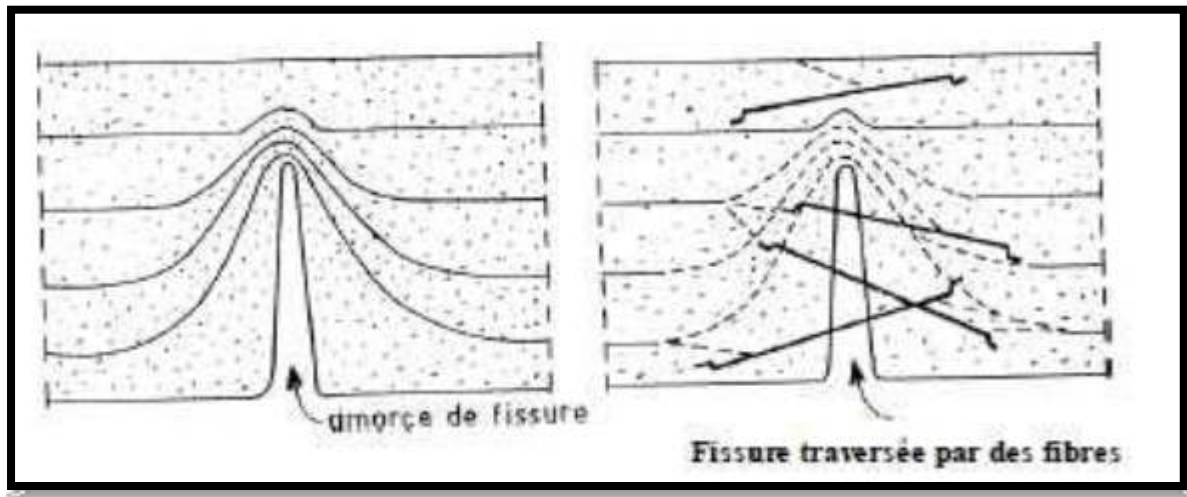


Figure –N° 01- Rôle des fibres dans la matrice de béton [2].

I-2-1 Historique et perspective de l'utilisation des fibres

L'idée de l'utilisation des fibres est très ancienne. Les fibres ont été utilisées dans la fabrication des cordes et textiles. Comme élément de renforcement des matériaux de construction traditionnels, la première utilisation des fibres a été observée dans la fabrication des briques argileuses ou dans les mises en œuvre des plâtres, et spécialement par des fibres végétales.

La naissance de la fibre industrielle, suite aux développements technologiques, a augmenté les champs d'applications des fibres dans plusieurs domaines. Utilisé dans le domaine des textiles depuis le XIX^e siècle sous forme de fibre de coton, et à partir de l'année 1935 la fibre de Nylon (plastique), et récemment la fibre de polypropylène prédomine. Depuis l'année 1950 la production des cordes et câbles utilise les fibres de verre et d'acier. Cependant, dans le domaine de la construction, la première fibre utilisée dans le renforcement des ciments fut la fibre d'amiante vers les années 1900. Si la fibre d'amiante est considérée comme étant la première fille dans la famille des fibres minérales utilisées dans le renforcement des ciments, la fibre de verre est la première sœur. En effet, le renforcement des ciments par les fibres de verre a commencé à partir des années 50, pour répondre aux exigences et aux nécessités de production des matériaux résistants, durables et légers, mais aussi et surtout pour se substituer à l'amiante, originaire de plusieurs maladies sanitaires.

Depuis 1966, les efforts ont été concentrés pour l'amélioration de la qualité de la fibre de verre notamment sa résistance aux alcalis. Parallèlement, la technologie d'utilisation des fibres d'acier fût développée. Des recherches se poursuivent pour adapter ces matériaux aux bétons à hautes performances. Dernièrement, des recherches sont axées vers l'incorporation des fibres végétales ou naturelles tels que le sisal, le jute et la hampe dans le renforcement des matériaux de construction et particulièrement dans les ciments.

L'avenir du développement dans le domaine du béton de fibre sera fort probable ment attribué aux fibres végétales, notamment pour les pays en voie de développement [01].

I-3 Généralités sur les fibres

I-3-1 Les fibres

Le terme " Fibre " se rapporte à un corps solide flexible, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre de quelques millimètres dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Les fibres se trouvent sous diverses formes différentes soit par la nature (métalliques, minérales, végétales et synthétiques) soit par les dimensions (macro micro-fibres), soit par la forme (droites, ondulées, crochetées aux extrémités...etc.) et bien évidemment par leurs propriétés mécaniques [02].

I-3-2 Différents types de fibres

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques, différentes les unes des autres, les fibres sont définies suivant qu'elles soient naturelles ou artificielles. Les fibres utilisées dans la confection des bétons sont classées en quatre grandes familles selon leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques :

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

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : Dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulé crantée...), Résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibre [03].

I-3-2-1 Les Fibres végétales

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autres en un faisceau. Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibres. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse, qui, regroupée avec d'autres, forme un faisceau de fibres ; le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicelluloses. Ce sont généralement ces faisceaux de fibres qui sont communément appelés « fibres végétales ».

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50 μm , soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100.

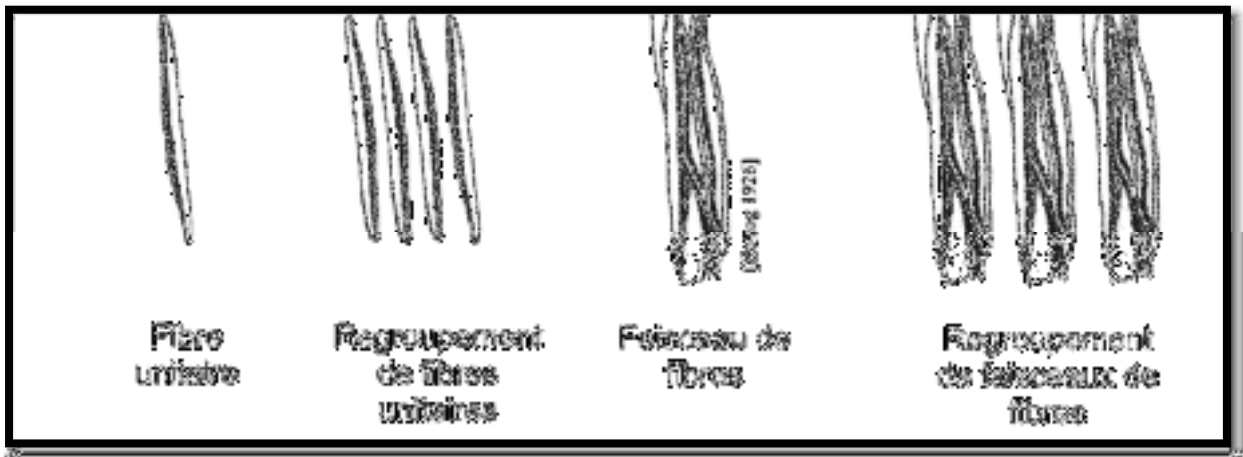


Figure –N° 02-: Différentes formes de fibres

I-3-2-2 Les Fibres de verre

Sous leur forme habituelle, sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration, sous la forme de fibres de faible diamètre (Figure N° 03), le verre perd ce caractère, acquière de bonnes caractéristiques mécaniques, et sont utilisées pour fabriquer des éléments de faibles épaisseurs, avec des matrices de pâte ou mortier ou de micro béton.



Figure –N° 03- : Fibres de verre

I-3-2-3 Les Fibres de polypropylène

Les polypropylènes, sont des produits d'origine pétrolière, découverts en 1954, ce matériau de synthèse a connu une extension croissante dans l'industrie de textile où ils apportent les avantages suivants :

- ✓ Disponibilité à prix relativement faible.
- ✓ Résistance aux attaques en milieux alcalins et corrosifs.
- ✓ Augmentation notable de la résistance de la résistance aux chocs.
- ✓ Limite l'ouverture des fissures.

Ces fibres sont fréquemment utilisées dans le bâtiment, en particulier la dans réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façades, de tuyaux et pieux (Figure N° 04).



Figure –N° 04-: Les Fibres de polypropylène

I-3-2-4 Les Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à la fibre métallique (acier), vue les caractéristiques (forme, élançement, caractéristiques physicochimique...etc.) qu'elles présentent. L'ajout des fibres au béton, apporte une certaine ductilité ; pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux. Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dra mix (pour $L_f = 50\text{mm}$). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure. Il existe sur le marché, une panoplie de fibres métalliques d'acier, voici quelques types de fibres :

- fibres ondulées - crantées - torsadées-droites ;
- fils, rubans ;
- fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc...[04]

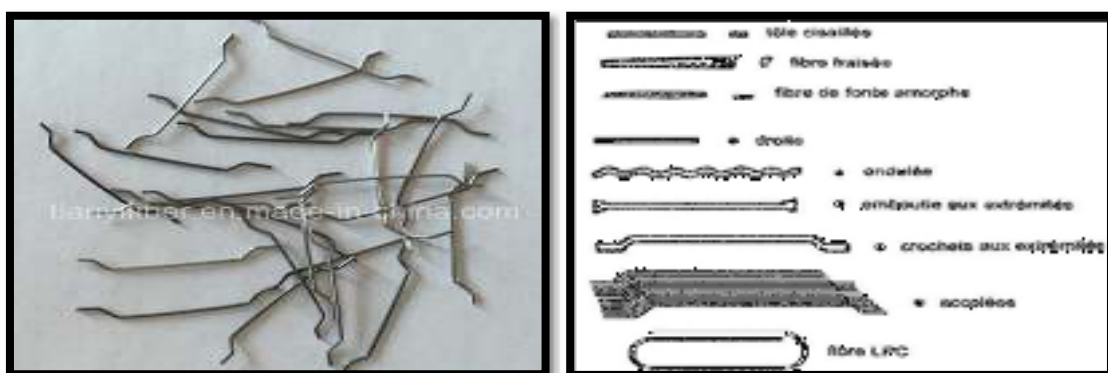


Figure –N° 05-: fibre métallique

I-3-2-4-1 Les Fibres d'acier

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des bétons ou mortiers. En effet, ces fibres présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité très élevé [15]. Parmi les fibres d'acier les plus utilisées nous citons :

I-3-2-4-1-1 Les Fibres Euro-Steel

Ce sont des fibres ondulées en acier à haute résistance, tréfilé, dur, à teneur en carbone inférieure à 0.15%. La contrainte limite de rupture en traction est de 1400 MPa [05].

I-3-2-4-1-2 Les Fibres Bekaert de Chez Dramix

Ces fibres en acier tréfilé sont fabriquées par Bekaert. Elles se présentent sous forme de plaquettes collées, ce qui facilite leur introduction dans le béton et évitent la formation d'oursins. En effet, la colle se dissout facilement dans l'eau de gâchage. Les fibres les plus courtes sont actuellement utilisées en béton projeté. Elles ont une résistance à la traction minimale de 1100 MPa. Leur diamètre varie de 0.4 à 0.8 mm et leur longueur de 25 à 60 mm [05].

I-3-2-4-1-3 Les Fibres Harex

La fibre Harex est obtenue par fraisage. Les copeaux, produits légèrement enroulés sur eux-mêmes, possèdent une résistance à la traction d'environ 700 MPa [05].

I-3-2-4-1-4 Les fibres Ruban en Fonte Amorphe de Pont-à-Mousson

Ces fibres sont développées par SEVA (Pont à-Mousson), sont des rubans de fonte amorphe obtenue par refroidissement brutal. Cette trempe crée une structure vitreuse qui est en partie à l'origine de sa résistance à la corrosion. Les longueurs commercialisées de ces fibres sont de 15, 30, 45 et 60 mm. Une de leurs caractéristiques importantes est leur grande résistance à la corrosion. La résistance à la traction de ces rubans est d'environ 200 MPa.

I-3-2-4-1-5 Les Fibres à Tête d'encrage en Acier Tréfilé

Ces fibres sont développées par EURO-STEEL, elles se distinguent par leur capacité à développer très tôt un bon ancrage, donc à limiter la chute d'effort post-fissuration.

L'angle d'inclinaison des têtes a été choisi pour permettre un confinement du béton.

I-3-2-4-1-6 Les Fibres de Beki –Shield

Ce sont des fibres métalliques spéciales, fabriquées et commercialisées sous le nom de Beki-Shield, présentent des caractéristiques intéressantes, elles sont très minces et moins abrasives, moins irritantes au toucher que les fibres de verre. Ces fibres sont fabriquées à partir d'un acier inoxydable qui offre de très grande résistance à la corrosion. D'autre part. DEBICKI. résume sur le tableau 1.4 quelques propriétés de fibres industrielles. Il met en évidence la nature très variée de ces fibres [05].

1-4 Propriétés des fibres

1-4-1 La notion de fibres structurales

La notion de fibres structurales n'est applicable qu'à certains types de fibres métalliques pour lesquelles les résistances résiduelles s'apparentent à l'action structurale des armatures traditionnelles. Il est important de réaliser que le terme « fibre structurale » est inapplicable à la plupart des types de fibres. Il est à noter que les applications de dalles sur sol ne sont pas considérées comme étant structurales. Les fibres métalliques et les macros fibres synthétiques peuvent être utilisées en concentration nécessaire pour satisfaire aux spécifications du devis [06].

1-4-2 Le facteur d'élanement

Le facteur d'élanement est défini par un ratio géométrique. Le facteur d'élanement est donc le ratio qui représente le rapport de la longueur sur le diamètre équivalent de la fibre. Le (tableau -1-) indique des valeurs de ratio pour certains types de fibres. Le lien entre la matrice du béton et la fibre augmente proportionnellement avec le facteur d'élanement. Par contre, les fibres avec un facteur d'élanement supérieur à 60 et dotées d'une géométrie particulière sont potentiellement susceptibles de former des « oursins » [06].

Types de fibres	Élanement (L/D)
Macrosynthétiques	50-100
Métalliques	25-100
Fonte amorphe	1200-1400
Polypropylène	140-1700
Carbone	150-400

Tableau 01 Facteur d'élanement. [06].

1-4-3 La performance

La performance des fibres est directement reliée à la valeur de résistance résiduelle qu'il est possible d'obtenir pour une formulation donnée d'un béton. La performance des fibres est évaluée selon différentes normes japonaises et américaines [06].

1-4-4 La valeur de résistance résiduelle

Les fibres dans le béton apportent une meilleure résistance aux déformations en flexion des ouvrages de béton soumis à des charges. C'est lorsque apparaît la première fissure que les fibres sont sollicitées et qu'il est possible de déterminer une valeur de résistance résiduelle. Effectivement, les fibres apportent une meilleure cohésion et résistance intrinsèque de la matrice et augmentent ainsi la résistance à la propagation et à l'augmentation de la fissuration.

Les fibres permettent une reprise de charge en post-fissuration. Il existe trois méthodes d'essais de référence qui donnent des valeurs différentes pour la détermination de la résistance résiduelle :

- ASTM C1018 : détermine le facteur de résistance résiduelle;
- ASTM C1399 : détermine la résistance résiduelle moyenne;
- JCI SF-4 : détermine la résistance résiduelle équivalente.

L'essai JCI SF-4 est le plus utilisé pour les méthodes de conception [06].

1-4-5 La distribution des contraintes mécaniques

Un des principaux avantages de l'ajout des fibres est le meilleur contrôle de la post fissuration du béton. Les fibres ont la particularité d'absorber l'énergie de fissuration et de redistribuer les contraintes mécaniques dans la matrice du béton. La répartition des fibres dans la masse du béton permet de différer la rupture fragile du béton en s'opposant à la propagation des microfissures (figure –N° 07-). Selon les fibres utilisées et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations en post-fissuration relatives à :

- la résistance à la traction;
- la résistance aux impacts;
- la résistance à la fatigue;
- la résistance à l'abrasion;
- la réduction des fissures de retrait.

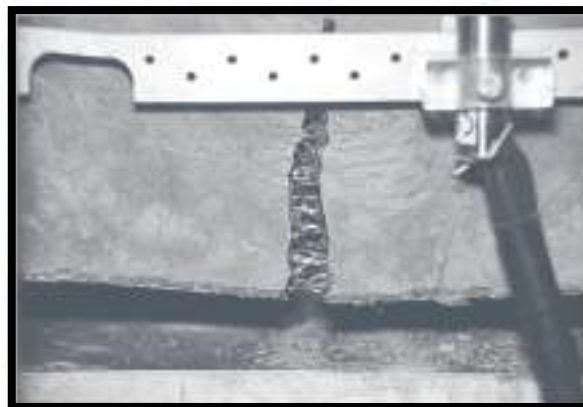


Figure –N° 06-:Essais de l'ASTM C 1018 [06].

1-4-6 La résistance à l'abrasion

L'essai de résistance à l'abrasion s'effectue selon les normes ASTM C 418 et C 779. Un article de la revue « Concrète Technologie Today » de l'Association Canadienne du Ciment explique la résistance à l'abrasion de la manière suivante :

Les informations sur la résistance à l'abrasion du béton fibré sont rares et conflictuelles. Selon les valeurs disponibles, lorsque l'érosion est provoquée par la cavitation et par l'action abrasive d'un fort débit d'eau ou à l'impact de larges débris, c'est alors que le béton fibré améliore la résistance à l'abrasion. Par contre, pour une érosion de basse vitesse, c'est plutôt la propriété de la matrice et des granulats que celle de l'utilisation de fibres qui détermine la

résistance à l'abrasion. De la même façon, c'est également la propriété de la matrice qui détermine la résistance à l'usure pour le pavage et les dalles sur sol [06].

1-4-7 Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres

Les fibres ont un rôle qui se traduit par des résultats variables, donc des applications différentes en fonction de leur nature. Pour apprécier l'apport des fibres au béton et leur influence sur ses lois de comportement, il importe de connaître leurs caractéristiques, aussi bien géométriques que mécaniques. Selon leur type, les fibres métalliques, synthétiques ou naturelles ont une influence différente sur les propriétés du béton durci. Le type de liant utilisé dans le béton, la géométrie et la composition des fibres, ainsi que leur orientation, leur distribution et leur densité à travers le béton, sont des facteurs qui influencent les propriétés du béton frais et durci [06].

1-5 Utilisation des fibres dans le béton

1-5-1 Rôle des Fibre dans le Béton

Dans les premières études, les chercheurs ont essayé, par l'incorporation de fibres dans le béton, d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion, mais les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés [06].

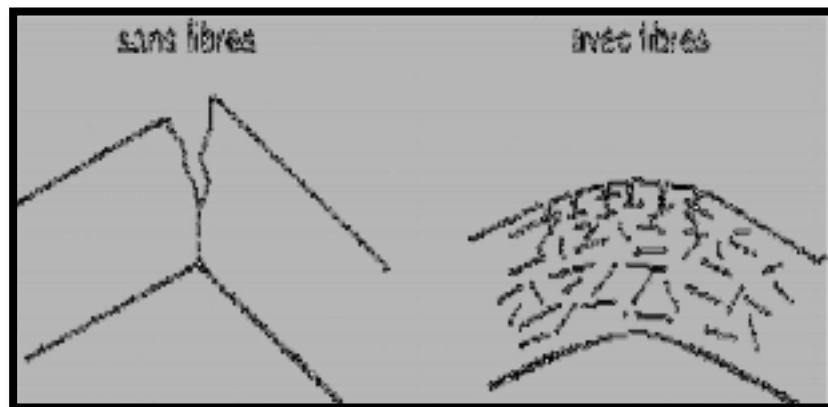


Figure –N° 07- : Fissuration dans le béton sans et avec fibres [06].

Il est à noter que le rôle principal des fibres dans un matériau peut-être lié à deux points essentiels:

- le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme il est indiqué dans la figure –N° 06-.
- transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir figure –N° 07-. [06].

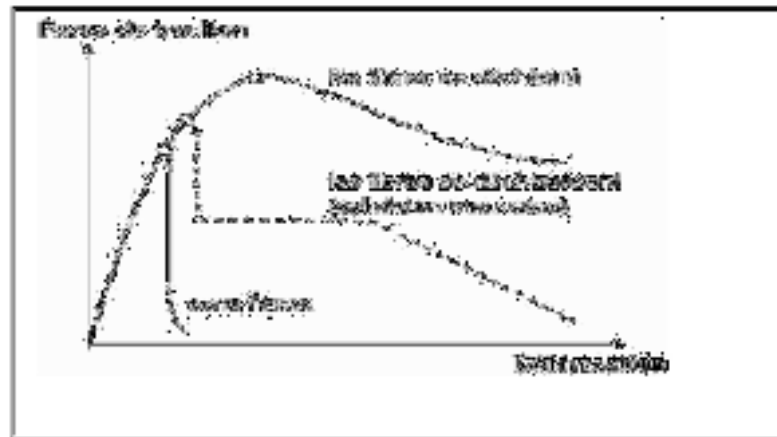


Figure –N° 08- : Comportement de charge déformation de béton avec et sans fibres [06]

1-5-2 Amélioration des caractéristiques mécaniques

Formation de fissures. L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré. Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins » [05].

1-5-3 Contrôle de la fissuration de retrait

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en post-fissuration.

Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat (figure –N° 06-). L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le retrait plastique. Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux contrôlées. Les fissures sont donc plus minces, moins longues et mieux distribuées sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu [06].

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



Figure –N° 09- : Texture d'un béton fibré [06].

1-5-4 Avantages du béton fibré

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique [06].

A / Aspect technique.

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

- un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton ;
- une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post-fissuration (résistance résiduelle) ;
- une énergie d'absorption élevée ;
- une résistance aux impacts élevée ;
- une résistance à la fatigue élevée ;
- une augmentation de la résistance en cisaillement [05].

B / Aspect économique

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction du coût de mise en place et du temps de construction ;
- une optimisation du dimensionnement [05].

1-5-5 Domaines d'utilisation du béton de fibre

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles [05].

<i>Domaines d'application privilégiés par type de fibres</i>			
<i>Type de fibres</i>	<i>Dosage courant</i>	<i>Domaine d'application privilégié</i>	<i>Exemples d'application</i>
<i>Fibres métalliques</i>	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m ³	Renfort pour bétons structurés et armature structurelle	<ul style="list-style-type: none"> - Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression - Éléments préfabriqués - voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement - Pieux de fondation, semelles filantes
<i>Fibres polypropylène</i>	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m ³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	<ul style="list-style-type: none"> - Dallage - Voussoirs de tunnels - Revêtement d'ouvrages souterrains - Mortiers projetés - Parements esthétiques
<i>Fibres de verre</i>	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	<ul style="list-style-type: none"> - Parements architectoniques - Panneaux de façade - Éléments décoratifs

Tableau 02: Domaines d'application privilégiés par type de fibres [05].

APPLICATIONS	INTERET APPORTE PAR L'ADJONCTION DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque minces faiblement sollicitées.	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges. - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.
Dallage, chaussées en béton, dallages manufacturés, et tous éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> - diminution de 40% de l'ouverture de fissure, - 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...etc.).	<ul style="list-style-type: none"> - amélioration de la charge ultime, - pas de rupture catastrophique.
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles exp: piste d'aéroport.	<ul style="list-style-type: none"> - l'énergie absorbée est plus importante, - la durée de choc est augmentée, - la loi de comportement du matériau est Fortement modifiée.
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts.	<ul style="list-style-type: none"> - amélioration de la résistance aux chocs, - amélioration de la déformation.
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> - remplacement avec succès du revêtement réfractaire, - diminution le coût de réparation des Eléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> - évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé, - diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus.
Fabrication des pieux, revêtement ignifuges isolants (construction navale). Panneaux de revêtement de façade...etc.	<ul style="list-style-type: none"> - augmentation de la résistance aux chocs, - augmentation de la résistance à l'usure, -augmentation de la durabilité de revêtement.

Tableau 03 : Intérêt apporté par domaines d'application [05].

1-6 Comportement mécanique des bétons de fibres

I-6-1 Effet des fibres dans une matrice

A/ La taille et la rugosité des granulats

La dimension des granulats est très importante pour avoir un bon béton résistant et maniable car avec une présence d'une certaine quantité de gros grains, le béton peut avoir une mauvaise ouvrabilité. Les B.F.M sont composés, en plus des gros granulats, d'une quantité de fibres, qui en entrant en contact avec ceux-ci tend à figer leur mouvement, fait qui se répercute principalement sur la maniabilité. Les multiples travaux de recherche montrent que la mise en œuvre des B.F.M. est souvent difficile et a toujours posé de problème. Ainsi pour faciliter cette mise en œuvre, la composition du béton ne doit en aucun cas contenir des éléments dont la taille est supérieure au quart de la longueur de la fibre (une dimension maximale d'environ 8 à 15mm), c'est la raison qui fait que les bétons de sable se révèlent compatibles à l'inclusion des fibres [07].

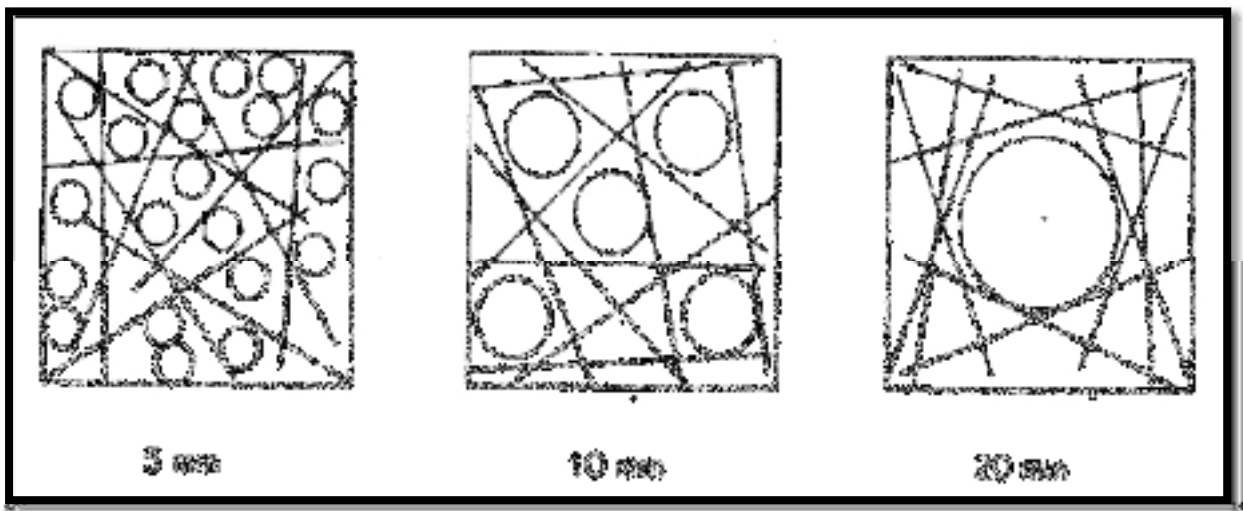


Figure –N° 10- : Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre [07].

B/ Influence de l'adhérence fibres matrice

L'adhérence fibres matrice est un facteur très important vis-à-vis de l'efficacité des fibres dans la matrice, l'adhérence entre fibres et matrice est assurée par trois liaisons:

- une liaison élastique,
- une liaison de frottement,
- une liaison créée par un ancrage mécanique dans le cas des fibres non rectilignes (crochets ondulation dentelles).

Des essais d'arrachement effectués par Euro steel sur les fibres ondulées (1982) montrent que la résistance d'adhérence dépend de la teneur en ciment dans la matrice. Il existe une teneur en ciment voisine de 400 à 500 Kg/m² [05].

C/ Influence de la géométrie de la fibre

Plusieurs types de fibres ont fait l'objet de beaucoup de recherches, mais il est prouvé que les seuls types de fibres susceptibles d'augmenter la résistance à la traction du béton, par la transmission d'une palpable énergie de plastification et de rupture, sont celles dotées d'un système d'ancrage. Les deux prérogatives qui en découlent sont :

1. En se plastifiant, l'ondulation diffuse, dans le béton, une énergie capable de multiplier par 2.5 celle de la rupture en traction de la fibre.
2. Contrairement aux autres types de fibres, celles ondulées sont capables de s'agripper au béton. En effet, l'existence d'ondulations le long de ces fibres créent des réactions de butées et s'opposent par le fait au déchaussement de ces fibres [05].

D/ Mécanisme de rupture d'une fibre dans la matrice

La résistance à la fissuration et la résistance ultime du composite dépendent du transfert des efforts matrice- fibre. Lorsque la fibre est soumise à un effort d'arrachement, le transfert des charges à l'interface s'effectue par les contraintes d'adhérence. La distribution de ces contraintes le long des parties ancrées des fibres associées aux modèles de comportements utilisés peut être éventuellement confirmée par des essais simples comme celui de «pull-out». Ces essais peuvent nous ramener à déterminer des relations entre divers paramètres géométriques et mécaniques utilisables et permettre de définir et déterminer les coefficients d'efficacité des fibres.

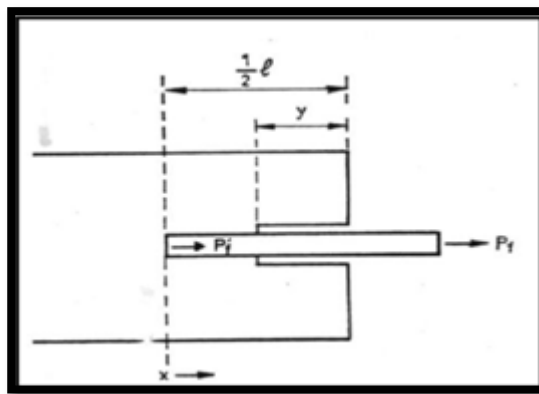


Figure –N° 11-: Géométrie d'une fibre contrainte de matrice sur une longueur y [05].

Le modèle mathématique associé au mécanisme du décollement des fibres suppose un comportement élastique de la matrice et des fibres, lorsque le composite est soumis à un effort de traction. Les contraintes latérales de la matrice et des fibres sont négligées, c'est-à-dire que le transfert des contraintes de la matrice vers les fibres se traduit uniquement par des contraintes de cisaillement à l'interface fibre -matrice. Le mécanisme du décollement de la rupture de la fibre est le suivant :

1. Rupture de la fibre.
2. Décollement partiel
3. Décollement catastrophique

1-6-2 Résistance des bétons de fibres en compression

Le comportement en compression du béton renforcé de fibres se résume en trois phases qui sont les trois parties indissociables du diagramme effort déformation:- La première phase, avant microfissuration, est traduite par une partie linéaire de la courbe, - Effort déformation : celle-ci est identique à celle du béton témoin pour toute valeur de l'effort inférieure à 50% de la charge de rupture. Cela nous permet de dire que le module de Young est insensible à la présence des fibres durant cette phase.

- La seconde phase est représentée par un diagramme courbé, durant la quelle la courbe relative à un BFM commence à se démarquer de celle du béton témoin. Ceci est dû à l'amorçage des microfissures et par conséquent la mise en service des fibres qui se mettent en tension.

- Dans la dernière phase, qui va dans une direction descendante, les fibres reprennent la quasi-totalité de l'effort tout en maintenant le béton fissuré, en un seul bloc.

- D'après SERNA ROS(1984), la résistance ultime et le module d'élasticité d'un BFM sont très proches de ceux du béton témoin. Néanmoins, les fibres nourrissent le béton, au-delà du pic, d'une énergie, produisant ainsi un comportement ductile et corrélativement une augmentation de la déformation à la rupture voir figure -N° 14-.

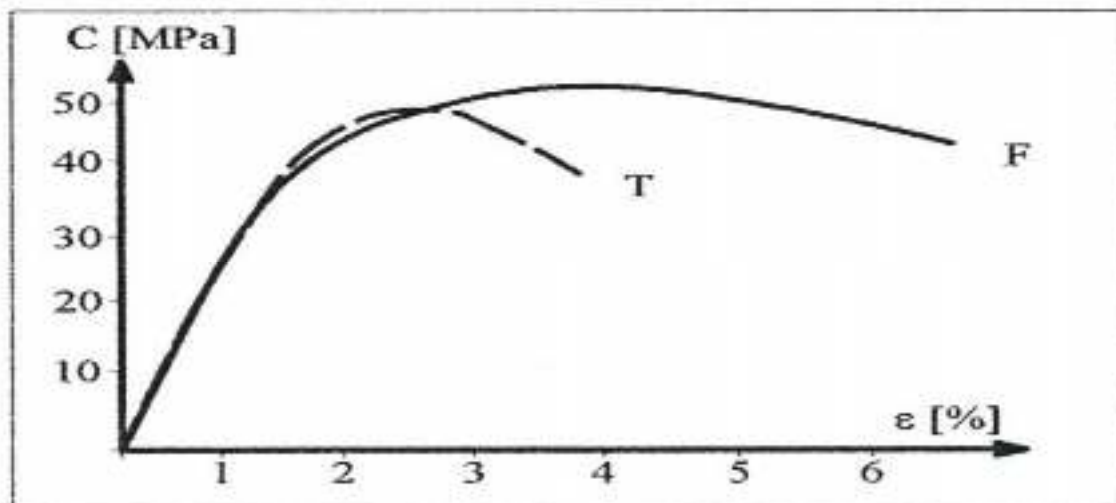


Figure -N° 12- : Courbe contrainte déformation en compression simple (SERNAROS, 1984) [08].

Avec :

T : Béton témoin

F : Béton de fibres métalliques à crochets, différentes compositions de matrices sont testées. dans cette optique, FENELLA.D.A et AL (1985) ont montré, de par l'expérience, que plus le dosage en fibres est considérable, plus la dispersion de la partie descendante de la courbe effort-déformation est significative. La figure qui suit nous montre que le renforcement du béton par des fibres sera trouve sensiblement plus résistant, et nettement plus ductile [08].

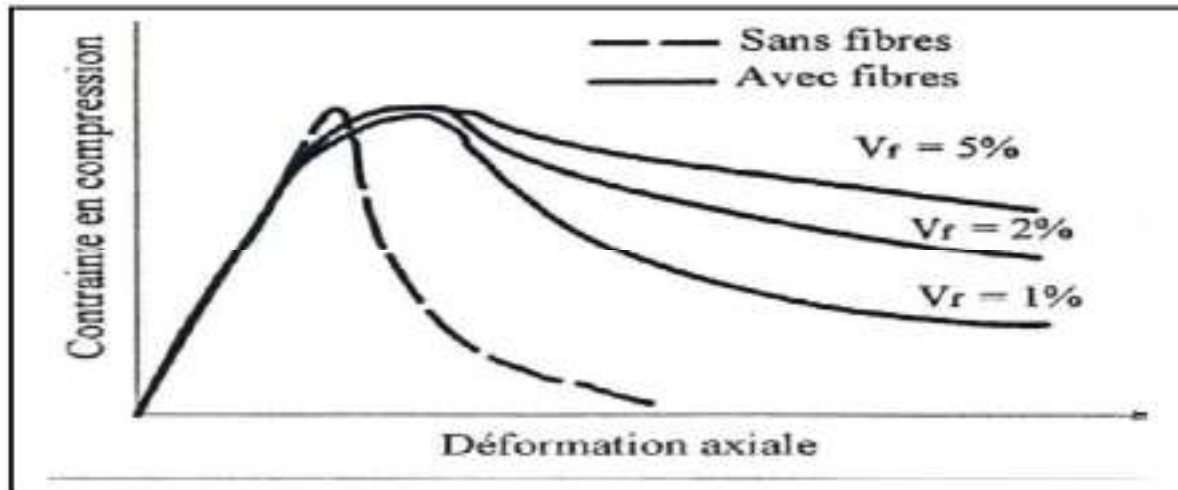


Figure -N° 13 - : Influence du dosage en fibres lors d'un essai de compression [05].

A l'évidence, ZHAN (1991), a montré que les fibres métalliques dans le béton (comparativement à un béton témoin) augmentent sa résistance de 20%. Dans la série d'essais qu'il a entrepris sur des éprouvettes asservies avec un âge de 227 jours. Il a constaté que ce plus en résistance est beaucoup plus faible (de l'ordre de 7%) [08].

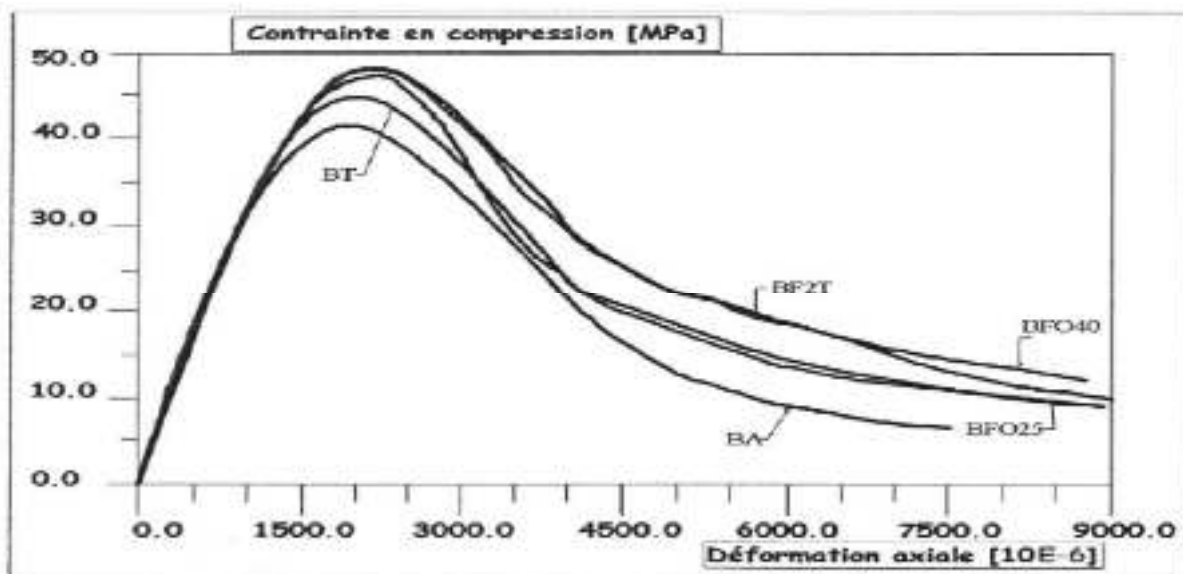


Figure -14-: Courbe contrainte déformation des essais de compression faits sur des éprouvettes asservies [08].

Dans le but d'affûter les résultats, des essais de compression ont été réalisés au LCPC, en prélevant par sciage, des éprouvettes de dimensions 20x20x50 cm³ d'un gros massif de béton de fibres DRAMIX, un autre à base de fibres FIBRAFLEX et comme à l'accoutumée un béton témoin servant de référence.

Il est admis que l'ajout de fibres n'améliore en rien la résistance d'un béton à la compression, on observe une diminution du module de Young ainsi que la contrainte. Toutefois la ductilité,

qui dépend du type et de la géométrie de la fibre mais aussi du pourcentage en fibres, se trouve accrue voir figure –N° 16-[05].

Pierre ROSSI quant à lui a choisi, pour expliquer cette baisse en résistance, d'emprunter un chemin plus simple, en se servant des formules de FERET. Selon lui, la chute de la résistance et du module de Young des BFM s'explique que celui-ci contient une quantité plus considérable de sable et de pâte de ciment que celle d'un béton ordinaire, mais aussi à cause d'une porosité plus élevée [05].

En tout état de cause, le fait de ne pas considérer la quantité de gravier en moins dans un BFM, identifiée par rapport à un béton sans fibres pourra d'une manière ou d'une autre fausser nos résultats [05]. Il est à rappeler que dans cette étude, les chercheurs du LCPC ont accordé une grande importance à l'utilisation de la méthode Baron-Lesage en ciblant la substitution, par les fibres, des armatures transversales.

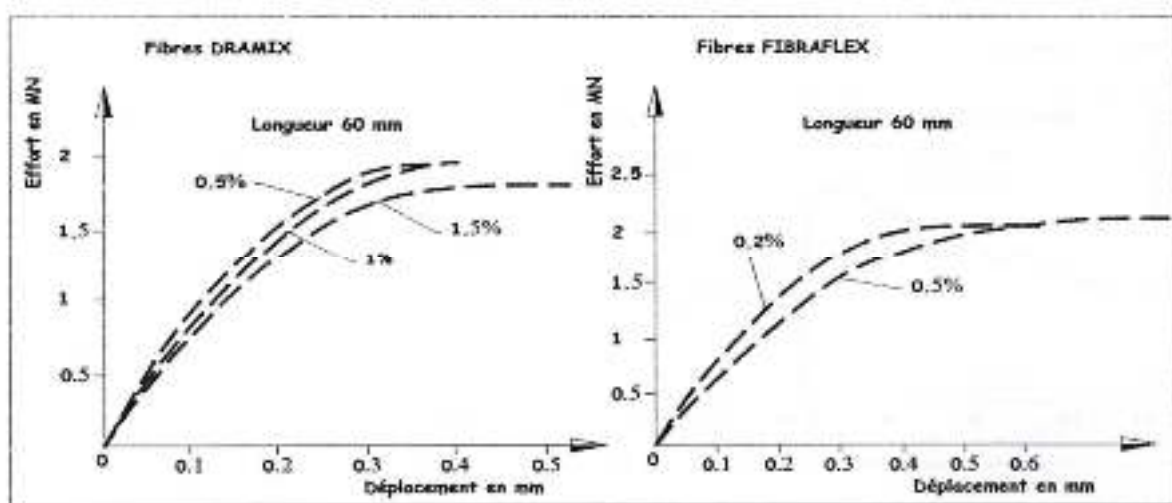


Figure –N° 15-: Diagrammes effort-déplacement en compression en fonction du type et du pourcentage en fibres [05].

A/ Influence du type de fibres

Le comportement global des éprouvettes de deux types de béton (béton armé de fibres et béton armé de fibres locales, en copeaux, de longueur de 30 et 50mm, avec des pourcentages de 0,5 et 1%) est sensiblement le même pour les deux types d'éprouvettes. L'ajout des fibres au béton apporte une certaine ductilité. Pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1% , le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux .Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres (pour $l_f=50\text{mm}$). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités .L'adhérence fibres matrice (béton) est ainsi meilleure [09].

B/ Influence de la longueur des fibres

Avec le béton de fibres en copeaux, pour des pourcentages 0,3; 0,5 ; 1 ; 1,5 ;2 et 2,5%, et des longueurs de 30 et 50 mm, on peut conclure que pour les faibles pourcentages, la longueur n'affecte que très peu le comportement des éprouvettes en traction. Par contre, plus le

pourcentage augmente, plus l'effet de la longueur des fibres n'est important. A pourcentage égal, les fibres les plus longues sont plus efficaces pour couvrir les fissures. L'effort nécessaire à l'arrachement des fibres ainsi que l'énergie de rupture sont plus importants.

C/ Influence du pourcentage en fibres

La figure –N° 13–montre l'influence du pourcentage en fibres sur le comportement des éprouvettes soumises à la traction par flexion. Pour chaque longueur de fibre, le phénomène est clairement mis en évidence tout en comparant les différentes courbes au béton témoin (sans fibres). Il apparaît que les fibres apportent une ductilité aux matériaux, la rupture devient ductile au lieu de fragile. L'effort maximal à la première fissuration ainsi que l'énergie de rupture augmentent en fonction du pourcentage en fibres [08].

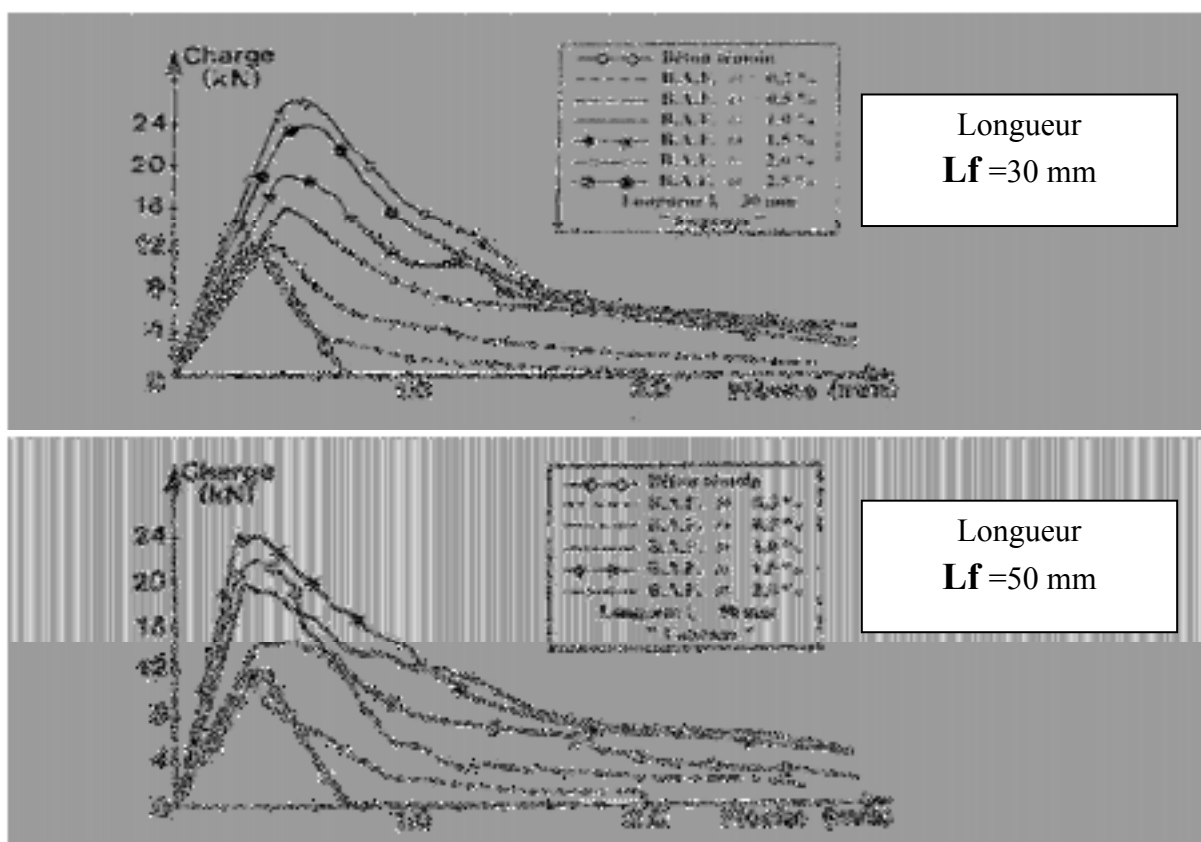


Figure –N° 16–:Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion [08].

Conclusion du chapitre

Ce chapitre s'est penché sur la connaissance des bétons et bétons fibrés, les différents types de fibres, leur rôle et domaine d'utilisation.

Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées.

L'addition des fibres influe directement sur les caractéristiques du béton. Cette influence est en fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élanement et par la nature des fibres utilisé.

L'ajout des fibres a pour rôle principal de modifier les propriétés des bétons, Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration.

Les fibres sont classées selon leur origine, leur forme et leur dimension et aussi par leurs propriétés mécaniques.

CHAPITRE II CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

II-1 Introduction

Les matériaux de génie civil sont des solides utilisés non seulement pour construire des maisons, des ouvrages, ou encore aménager son environnement (équipement collectif, routes, ponts, aménagements urbains)

II-2 Matériaux utilisés**II-2-1 les granulats****II-2-1-1 définition**

Les granulats constituent une matière première indispensable au bâtiment et au génie civil. Ils forment notamment le squelette des bétons. Choisir le type de granulats à utiliser est une étape importante qui nécessite de prendre en compte, les performances attendues.

Tous les granulats utilisés dans cette étude sont des granulats calcaires concassés conformes aux normes XP P18-545 proviennent de la Carrière EAS ain zitoune oum el bouaghi . Trois classes de granulats sont utilisées lors de la formulation des bétons, du sable 0/4 et des gravillons 4/8 et 8/16. Pour pouvoir faire le bon choix des granulats, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire. Les caractéristiques physiques, mécaniques et l'analyse granulométrique des granulats ont été déterminées au sein du LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION (LNHC OUM EL BOUAGHI).

II-2 -1-2 analyses granulométriques des deux graviers 4/8 et 8/16

L'analyse granulométrique permet, à l'aide de différents tamis, de déterminer précisément la composition d'un matériau afin d'en déduire ses caractéristiques mécaniques. Elle permet également de vérifier un matériau élaboré en carrière, en comparant sa courbe granulométrique avec le fuseau de prescription correspondant. Cette analyse se fait en laboratoire.



Figure –N° 17-: Matériels nécessaires pour L'analyse granulométrique

Les informations que fournit l'analyse granulométrique permettent de savoir dans quels types de tâches employer les matériaux analysés [10].

Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivants

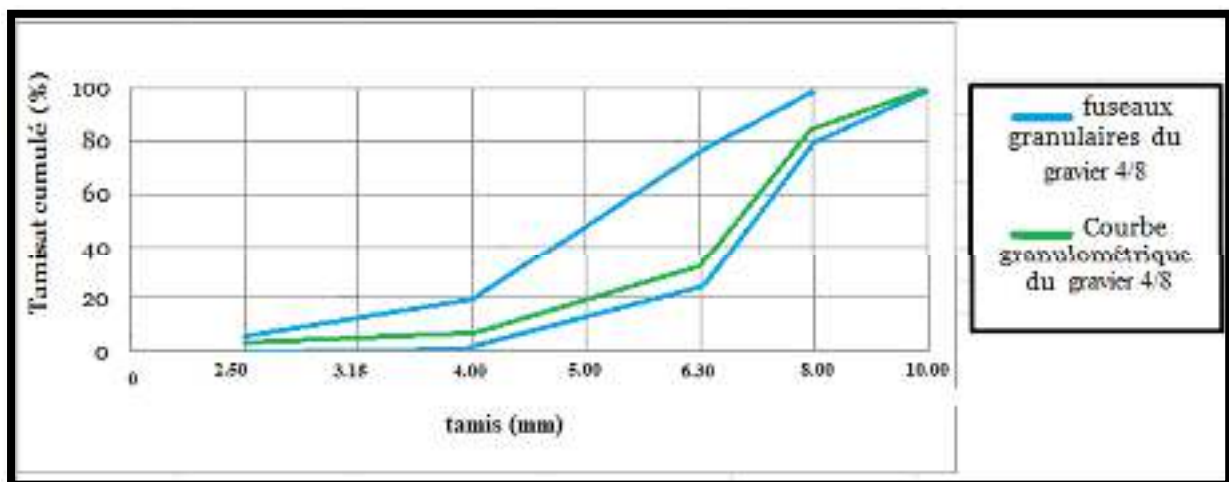
GRANULAT		POURCENTAGE EN MASSE DU PASSANT					
Gravier 4/8	Tamis (mm)	2D	1.58D	D	(d+D)/2	d	0.63d
		16	12.5	8	6.3	4	2.5
	Spécifications	100	≥99	80 à 99	25 à 75	1 à 20	0 à 5
	Obtenus	100.00	99.61	85.93	34.37	6.25	2.95

Tableau 04 : Analyse granulométrique du gravier 4/8

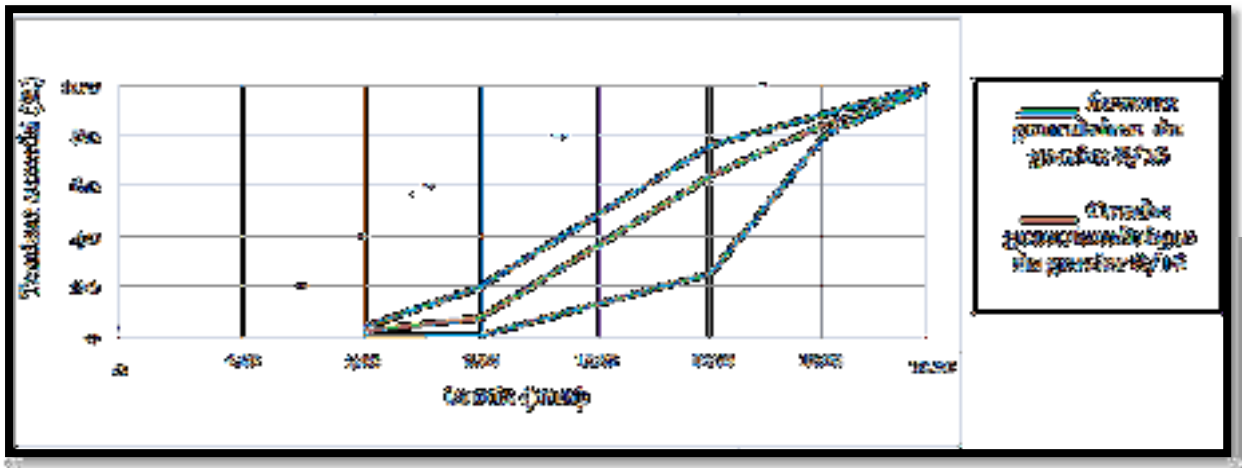
GRANULAT		POURCENTAGE EN MASSE DU PASSANT					
Gravier 8/16	Tamis (mm)	2D	1.58D	D	(d+D)/2	d	0.63d
		31.5	25	16	12.5	8	5
	Spécifications	100	≥99	80 à 99	25 à 75	1 à 20	0 à 5
	Obtenus	100.00	99.20	85.85	65.17	13.48	3.75

Tableau 05 : Analyse granulométrique du gravier 8/16

II-2 -1-3 les courbes et fuseaux granulaires des deux graviers 4/8 et 8/16



Courbe 01 : fuseaux granulaires et la courbe granulométrique de gravier 4/8



Courbe 02 : fuseaux granulaires et la courbe granulométrique de gravier 8/16

II-2 -1-4 coefficient d'aplatissement

L'élaboration des bétons hydrauliques, ainsi que la réalisation des corps de chaussées et des couches de roulement, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser un béton très compact, et, par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat.

- Une série de tamis normalisés à mailles.
- Une série de tamis à fontes de longueur normalisés.



Figure –N° 18-:tamis normalisés à mailles et tamis à fontes de longueur normalisés

L'échantillon est tamisé afin de mettre de côté les éléments inférieurs à 4 mm et supérieurs à 80 mm qui sont pesés. La masse restante est utilisée pour déterminer le coefficient d'aplatissement A. Le premier tamisage est effectué, chaque fraction étant pesée au gramme près, puis tamisées dans le tamis à fente correspondant. Le passant de chaque grille est pesé également au gramme près [11] .

Analyse des résultats

$$A (\%) = (Me / Ma) \times 100$$

Par fraction de matériau, le coefficient d'aplatissement **A** est égal à :

Me : masse de la fraction de matériau

Ma : masse du passant à travers le tamis à fente

Échantillons	Coefficient d'Aplatissement A(%)
Gravier 4/8	12.8
Gravier 8/16	9.3

Tableau 06 : Analyse coefficient d'aplatissement des deux graviers 4/8 et 8/16

II-2 -1-5 Los Angeles

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulat. Ce mode opératoire s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des chaussées et bétons hydrauliques.

L'essai est mis en route en exécutant à la machine 500 rotations à une vitesse comprise entre 30 et 35 tr/min .plus Une charge qui est constituée par des boulets sphériques de 47 mm de diamètre et pesant 4840 ± 25 g. Ces boulets ne doivent pas s'user de façon asymétrique [12]. Voir Figure –N° 20-:



Figure –N° 19 -: machine Los Angeles

Après l'essai on emporte les granulats et on les ramasse dans le bac placé sous l'appareil pour éviter les pertes des granulats, il faut apporter l'ouverture au-dessus de ce bac.

On blute le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm puis on lave le refus à 1,6 mm dans un autre bac et on le verse dans le bac troué. Dès que le refus est séché à l'étuve alors on détermine les poids de la pesée M1, et on calcule alors le coefficient Los Angeles :

Analyse des résultats

$$LA (\%) = ((M-M1)/M) \times 100$$

M : masse de la fraction de matériau 10/14

M1 : masse du refus à 1.6 mm

Échantillon	Fractions (mm)	Nombre de boulets	Poids total de la charge (g)	Poids des fractions (g)	Refus du tamis à 1.6 (g)	Los Angeles LA (%)	Catégorie LA
Classes 10/14	8/16	11	4840 ± 25	5000	3893	22.14	A

Tableau 07 : Analyse de Los Angeles sur fraction

Remarque : La catégorie **A** est bonne pour une utilisation dans le béton

II-2 -1-6 Micro-Deval

L’essai Micro-Deval (MDE) permet de déterminer la résistance à l’usure d’un échantillon de granulat. Quatre échantillons identiques, de fraction 10/14 mm, sont soumis à un cycle d’usure, en présence d’eau, par contact avec des billes d’acier à l’intérieur d’un cylindre en rotation [13], Voir la Figure –N° 21–



Figure –N° 20 -: machine Micro Deval

Le coefficient Micro-Deval obtenu est le pourcentage de l’échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure. Plus le pourcentage d’usure est bas, plus l’échantillon est résistant à l’usure.

Soit M la masse du matériau soumis à l’essai et m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l’essai; la résistance à l’usure s’exprime par le coefficient de micro-Deval qui s’écrit:

Analyse des résultats

$$\text{MDE}(\%) = (M - m) / M \times 100$$

M : masse de la fraction de matériau 10/14

m : masse du refus à 1.6 mm

Échantillons	Fractions (mm)	Poids de la charge (g)	Poids des fractions (g)	Refus du tamis à 1.6 (g)	Micro Deval MDE (%)	Catégorie MDE
Classes 10/14	8/16	5000	500	429.3	14.14	A

Tableau 08 : Analyse de Micro Deval

Remarque : La catégorie **A** est bonne pour une utilisation dans le béton

II-2 -1-7 masse volumique apparente et absolue des deux graviers 4/8 et 8/16

A/ la masse volumique apparente

L'essai a pour but de déterminer la masse d'une unité de volume apparente (c'est-à-dire tenant compte du vide dans les matériaux) afin de pouvoir transformer la composition massique des granulats constituant un béton, en une composition volumique [14] Sa détermination consiste

- à remplir un moule dont on connaît le volume;
- à raser ensuite la surface en évitant de tasser ;
- peser le tout.

Et on obtient l'expression de la masse volumique apparente :

$$M_v = M/V$$

Avec :

M:masse des granulats contenus dans le récipient,

V : volume du récipient.



Figure –N° 21 -:Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente des graviers

B/ la masse volumique absolue (Méthode de l'éprouvette graduée)

C'est la masse d'une unité de volume absolue d'un matériau (c'est à dire, on ne tient pas compte du volume de vide) afin de pouvoir traduire les pourcentages de chaque granulat par rapport à la totalité d'élément sec composant le béton, en une composition massique. L'essai consiste à déterminer le volume absolu occupé par une certaine masse d'un matériau étudié [15]. L'expression de la masse volumique absolue est la suivante :

$$Ma = Ms/Vs$$

Avec :

Ms : la masse du grain solide

Vs : le volume occupé par le grain solide



Figure –N° 22 -: Mesure de la masse volumique absolue des graviers.

Concernant les masses volumiques apparentes et absolues, les valeurs obtenues correspondent aux valeurs moyennes des granulats courants utilisés dans la fabrication des bétons. Ainsi pour ce matériau, les sables et graviers présentent des masses volumiques absolues variant dans la fourchette [2500 ÷ 2700] kg/m³.

Nature de l'essai	Gravier 4/8	Gravier 8/16
Masse volumique apparente(t/m ³)	1.40	1.39
Masse volumique absolue (t/m ³)	2.68	2.68

Tableau 09 : Les valeurs de la masse volumique apparente et absolue des graviers 4/8 et 8/16

II-2 -2 le sable

II-2 -2-1 définition

Le sable carrière est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine calcaire (essentiellement des roches) , et les sables

utilisés dans cette étude sont des granulats calcaires concassés conformes aux normes XP P18-545 proviennent de la Carrière de EAS ain zitoune oum el bouaghi . dont la dimension est comprise entre 0,063 mm et 4 mm selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Pour pouvoir faire le bon choix des granulats, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire. Les caractéristiques physiques, mécaniques et l'analyse granulométrique des granulats ont été déterminées au sein du LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION (LNHC OUM EL BOUAGHI).

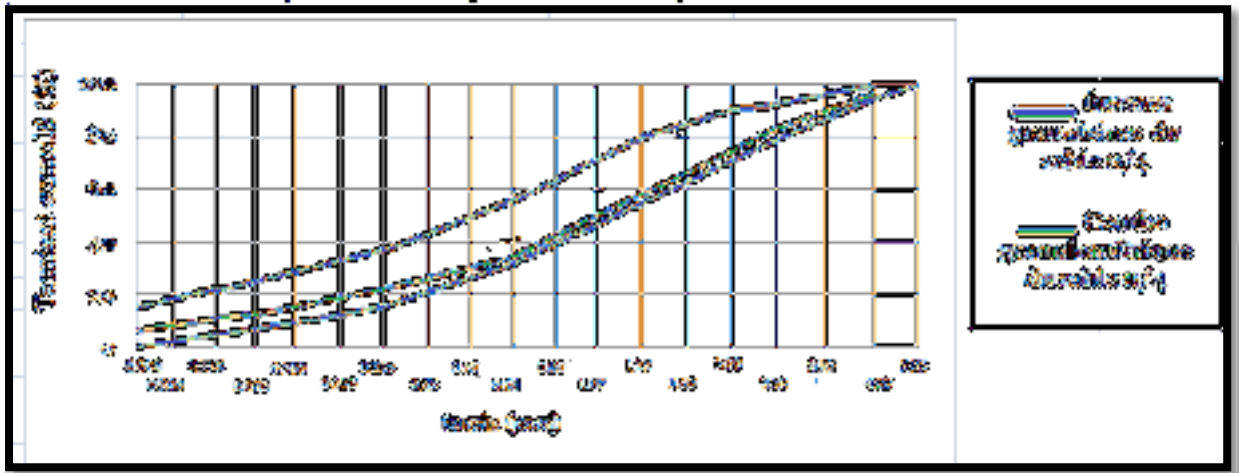
II-2 -2-2 analyses granulométriques de sable 0/4

Pour déterminer l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse d'environ de 1000grammes de sable préalablement conservées dans un four 105°C pendant 24heures [10]. Les résultats sont reportés sur le (Tableau10).

Sable 0/4	POURCENTAGE EN MASSE DU PASSANT							
Spécifications	6.3	4	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.063
	100	95-100	80-90	56-80	32-55	16-35	06-25	00-15
Refus cumulé	100	2.70	14.70	42.09	66.33	87.61	89.90	94.19
Obtenus	100	97.30	85.30	57.91	33.67	21.39	10.10	5.81

Tableau 10: Analyse granulométrique du sable 0/4

II-2 -2-3 la courbe granulométrique et fuseaux granulaires du sable 0/4



Courbe 03: fuseaux granulaires el la courbe granulométrique dus sable 0/4

II-2 -2-4 module de finesse

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être

quantifié par le calcul du module de finesse. Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulats est riche en éléments fins. Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 4 mm [16].

Et on obtient module de finesse $MF = 1/100 \sum$ refus cumulé en (%)

$$\text{AN : } MF = \frac{89.90+87.61+66.33+42.09+14.70+2.70}{100}$$

$$MF = \frac{303.33}{100}, MF = 3.03$$

Le module de finesse du sable utilisé est de **3.03**, il s'agit donc d'un sable dont les grains fins représentent la majorité. Cette finesse nécessite d'avantage d'eau pour le mouillage du béton.

II-2 -2-5 équivalents de sable

L'essai d'équivalence de sable est utilisé pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition du béton et de la qualité des éléments fins contenus dans cette fraction. La mesure est effectuée sur la fraction de granulats passant au tamis de 2 mm.

On lave l'échantillon (selon un processus normalisé). Pour cela on utilise une solution qui a pour rôle de séparer les éléments fins argileux et provoque la floculation. Après décantation, on mesure la hauteur des fines floculées, (sable propre + éléments fins = h1) et la hauteur de sable propre (h2 si c'est au piston ou h'2 si c'est au réglet) [17].

Mode opératoire :

- Remplissage de la solution jusqu'au premier trait,
- Une masse de sable 120g (sec) est introduite dans l'éprouvette,
- Imbibition du sable pendant 10mn dans la solution,
- Eprouvette secouée (60 cycles en 30 secondes), lavage du sable avec la solution,
- Et remplissage jusqu'au deuxième trait,
- Début de la décantation, durée 20mn,
- Mesure de la hauteur de sable h1 de l'ensemble sable plus flocculat,
- Mesure à vue la hauteur,
- Mesure de la hauteur du sable h2 au piston.



Figure –N° 23 -: Mesure de la propreté du sable (ES).

Échantillons	ES (%)Obtenus	
	ES (%)	ESV (%)
Sable 0/4	69.4	55.9

Tableau 11: les résultats d'équivalents de sable

ES (%):Equivalents de sable avec piston

ESV (%):Equivalents de sable avec lecture Visual

- Le classement des sables d'après la propreté :

$60 \leq \text{ES} < 70$ Sable légèrement argileux ; convenable pour des bétons courants

II-2 -2-6 masse volumique absolue et apparente du sable

A/ masse volumique apparente

La procédure utilisée pour déterminer ce résultat est montrée dans l'explication précédente de la même expérience avec du gravier 4/8 et 8/16

Et on obtient l'expression de la masse volumique apparente :

$$M_v = M/V$$

Avec :

M:masse des granulats contenus dans le récipient,

V:volume du récipient

B/ la masse volumique absolue (Méthode de l'éprouvette graduée)

Mesurer la masse volumique absolue d'un sable de carrière et la comparer avec la valeur théorique donnée.

Pour obtenir le résultat. Nous suivons les méthodes suivantes:

$$\rho_{\text{absolue}} = (P_2 / P_1 + P_2 - P_3)$$

- Peser le récipient plein d'eau, soit une masse P_1 ;
- Peser un échantillon du corps étudié, soit une masse P_2 ;
- Introduire le corps dans le récipient, remplir à nouveau d'eau, et peser, soit une masse P_3 .

Nature de l'essai	Gravier 4/8
Masse volumique apparente(t/m ³)	1.46
Masse volumique absolue (t/m ³)	2.69

Tableau 12 : Les valeurs de la masse volumique apparente et absolue du sable 0/4

II -2-3 le ciment utilisé

II-2-3-1 définition

Pour tous les mélanges on a utilisé un seul type de ciment (CPJ-CEM II/42.5A) provenant d'une unique livraison de la cimenterie de sigus (Wilaya de oum el bouaghi). Ainsi, la qualité de ce ciment constitue une constante au niveau des paramètres d'étude. Ses analyses physiques, chimiques et minéralogiques communiquées par le producteur sont représentées par la fiche technique **01** .

II-2-3-2 composition minéralogique et caract. physiques (voire fiche technique)

Le choix du CPJ42,5 s'explique aisément par le fait que c'est pratiquement le seul ciment courant disponible au niveau local. D'une manière générale, le choix du ciment dépend, notamment de la résistance souhaitée du béton des impératifs de mise en œuvre, et de l'environnement de l'ouvrage.

II-3 résultats tableau général des granulats+sables

les matériaux Les essais	Sable 0/4	Gravier4/8	Gravier 8/16
Analyses granulométriques	voire tableau 03	voire tableau 01	voire tableau 02
Module de finesse du sable <i>MF</i>	3.03	/	/
Equivalent de sable (%)	ES 69.4 ESV 55.9	/	/
coefficient d'aplatissement A (%)	/	12.8	9.3
Los Angeles LA(%)	/	/	C 10/14 22.14
Micro-Deval MDE(%)	/	/	C10/14 14.14
Masse volumique apparente (t/m ³)	1.46	1.40	1.39
Masse volumique absolue(t/m ³)	2.69	2.68	2.68

Tableau 13 : résultats tableau général des granulats+sables

II - 3-1 le super plastifiant GLENIUM 26

L'adjuvant utilisé dans notre étude est un super-plastifiant haut réducteur d'eau conforme à la norme EN 934-2, il s'agit de GLENIUM 26.

Le GLINIUM 26, est un super-plastifiant à base de poly-carboxylates, Il est recommandé pour des bétons hydraulique destinés à la préfabrication et pour la confection de bétons a hautes performances avec de très hautes résistances au jeune âge. Les principales caractéristiques physico-chimiques sont données dans le **tableau14** et des informations plus précises peuvent être trouvées dans le fiche technique **02**

Caractéristiques physico-chimiques du super-plastifiant GLINIUM26	
Aspect Liquide	couleur Brun
Masse volumique $1.08 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$	PH 7.0 ± 1
Teneur en chlorures $< 0.1\%$	Extrait sec $24 \pm 2\%$
$\text{Na}_2\text{O eq} < 2$	Transport Non classé
Taux des alcalins $< 2\%$	

Tableau 14 : Caractéristiques physico-chimiques du super-plastifiant GLINIUM26

II-3-2 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage des mélanges est de l'eau de robinet, au sein de notre laboratoire «LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION (LNHC OUM EL BOUAGHI)». Les résultats de l'analyse chimique de l'eau sont représentés

dans le **Tableau 15** selon la norme NF P18-303 (NA 1966) relative à la concentration en matières en suspension et sel dissout.

Concentration en matières et sel dissout dans l'eau (mg/l)	
Echantillons	Résultats
Matière en suspension	Traces
Sels dissous	1470
Sulfates (SO_4)-2	410.04
Chlorures (Cl^-)	82.15
Calcium (Ca^{+2})	28.67
PH	7.0
Magnésium (Mg^{+2})	51.90
Bicarbonates (HCO_3^-)	25
Carbonates	2.9

Tableau 15 : les résultats de l'analyse chimique de l'eau

CHAPITRE III FORMULATION DU BETON**III-1 introduction**

Formuler un béton consiste à déterminer un mélange optimal des granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en fines (ciment, addition) et en eau afin d'obtenir les qualités recherchées pour la construction de l'ouvrage. De nombreuses méthodes ont été élaborées en fonction de l'évaluation des connaissances relatives aux constituants et de leur rôle, des technologies et de l'expérience acquise sur les chantiers. Un point commun à toutes les études de composition consiste à rechercher conjointement deux qualités essentielles : l'ouvrabilité et la résistance. Nous verront que les aspects relatifs à la notion de la durabilité sont abordés de façon normalisée dépendamment de l'environnement d'exposition. Nous avons vu qu'un béton d'abord une suspension fortement concentrée de grains (gravillon, sable, ciment, addition) dans de l'eau. Bien que l'approche de compacité optimale puisse être faible de façon globale, il est en pratique, commode de distinguer le squelette granulaire inerte d'une part et la pâte d'autre part (mélange fines et l'eau). Par suite, une notion de dosage optimal en fines, résultant du concept de compacité, existe et ne dépend que de la dimension maximale des granulats (D) et de la granulométrie de ces fines. la courbe granulométrique optimale des granulats est alors indépendante du liant si le dosage en fines est d'optimal

La formulation d'un béton se résume alors en quatre étapes majeures :

- Détermination de la dimension maximale des granulats ;
- Détermination de la courbe granulométrique optimale des granulats ;
- Détermination du dosage en eau et air, en fonction de l'objectif d'ouvrabilité ;
- Et de détermination du dosage optimaux en fines, qui sera en fractionner en ciment et addition, en fonction des objectifs de résistances, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.

III-2 Les différentes méthodes de composition des bétons :

- Méthodes de BOLOMY
- Méthodes d'ABRAMS
- Méthodes de FAURY
- Méthodes de VALETTE
- Méthodes de JOISELE
- Méthodes de DREUX GORISSE

III-3 La méthode de DREUX-GORISSE**III-3-1 Généralités**

Les différentes méthodes de composition les plus utilisées, (à l'exception de celle Dreux-Gorisse) reposent sur une même série d'actions : le béton le plus résistant pour des granulats donnés, est celui qui, une fois mis en place et compacté, sera le plus plein et a minimum

d'éléments fins. Ce principes 'élabore quand on s'aperçoit qu'un creux dans la matière diminue les résistances, augmente la perméabilité aux attaques chimiques.

D'autre part, le béton trouvant sa justification dans le remplacement de blocs de pierres difficiles à tailler et onéreux, il est normal que l'on essaie alors de recréer un matériau identique, donc sans vide. Il apparait également une méfiance quasi mystique à l'égard des éléments fins du sable qui rendent les dosages plus délicats et sembleraient provoquer des anomalies de résistance. D'autre part, étant donné le rapport actuel des prix des graviers et des ciments, il est financièrement plus intéressant de mettre le minimum de ciment compatible avec le matériau désire [18].

III-4 étapes de formulation Méthodes de- DREUX GORISSE

C'est la méthode de fabrication qu'on a utilisée dans notre étude, Cette méthode est la plus utilisée actuellement. Nous rappelons que cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition a peu près adaptée au béton étudié (précontraint), mais que seules quelques gâchis d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux [18].

III-4-1 Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi, la résistance visée.

$$f_{cv} = f_{c28} + 15\% \cdot f_{c28}$$

$$f_{cv} = 1,15 f_{c28}$$

f_{cv} : la résistance visée à 28 jours

f_{c28} : la résistance à 28 jours

- Dosage en ciment et en eau

Le dosage en eau et en ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats, ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$f_{c'}$: résistance visée à 28J.

C : dosage en ciment k /m3de béton.

E : dosage en eau k /m3de béton.

Fct : classe vraie de ciment en MPA.

G : coefficient granulaire.

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau ci-après établi par George **DREUX** .

III-4-2 Choix approprié du coefficient granulaire G

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau ci-après établi par George **DREUX** [18].

Qualité des Granulats	Dimension maximale D des granulats		
	Fin D ≤ 16mm	Moyen D ≤ 40mm	Gros 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 16 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16 mm, ce qui donne un coefficient granulaire $G=0,45$, avec une bonne qualité.

III-4-3 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 II/A-L 42.5 N. Sa classe vraie est estimée à **48 MPa**.

Le rapport $\frac{C}{E}$ est donné par

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cv}}{G \cdot F_{ct}} + 0.5$$

f_{cv} : résistance visée à 28J.

F_{ct} : 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)

AN:

$$\frac{C}{E} = \frac{30}{0.45 \times 48} + 0.5 = 1.89$$

III-4-4 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 :

$\frac{C}{E} = 1.89$
 $A = 9 \text{ cm}$ } l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : **$C = 400 \text{ Kg}$** (Figure -N° 28 -).

$\frac{C}{E} = 1.89$ et $C = 400 \text{ kg}$ on en déduit la valeur de E qui est : **$E = 211.64 \text{ kg}$**

Donc l'eau=212 L

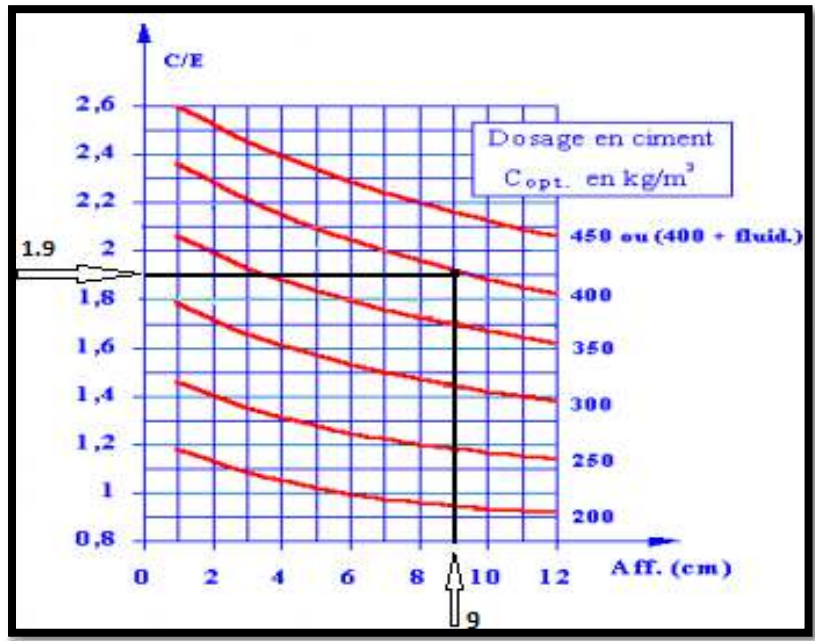


Figure –N° 24 -:Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C /E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

III-4-5 Tracé de la courbe granulair de référence

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

le point **O** est repéré par ses coordonnées: [0,063; 0]

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

Le point de brisure **A** a les coordonnées suivantes:

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 $D=16\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse: $D/2=8\text{mm}$.

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 M_f du sable vaut 3.03, celui-ci est classé comme un sable fin , la valeur du coefficient de correction K sera calculée par la formule suivante :

$$K = 6M_f - 15 \text{ Soit } K = 3.18$$

$$d'où, Y = 50 - \sqrt{16} + 3.18 \text{ donc } Y = 48.64$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure **A** sont: (8 ; 49).

III-4-6 La ligne de partage

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulats. 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 % de sable 0/4 et points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe O.A.B donnent les pourcentages des granulats suivants :

Sable 0/4: 40 %

Gravier 4/8 : 8.5 %

Gravier 8/16 : 51.5 %


III-4-7 Coefficient de compacité

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité [18] et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16 mm, on trouve une valeur de $\gamma = 0,815$.

Nous avons retenu une valeur de γ telle que $\gamma = 0,815$.

Remarque : la consistance théorique 09 cm et la vibration mode normale .

Pour trouver les valeurs du coefficient de compacité $\gamma = 0,815$ nous suivons les deux tableaux suivants: tableau 17 et tableau 18 .



Classe de consistance	Définition	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10-40
S2	Plastique	50-90
S3	Très plastique	100-150
S4	Fluide	160-210
S5	Très fluide	≥ 220

Tableau 17 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

Consistance	Serrage	Coefficient en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Tableau 18 : Coefficient de compacité

III-4 -8 Les volumes des Granulats et ciment

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

Volume absolu du ciment :

$$V_c = \frac{mc}{\gamma} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ litres}$$

mc: dosage (en masse) de ciment

γ: 3,1 g/ml: masse volumique (voir fiche technique du ciment)

Volume absolu des granulats (l'ensemble):

$$V_G = 1000\gamma - V_c = (1000 \times 0.815) - 129.03 = 685.98 \text{ litres}$$

Volume absolu du sable 0/4 :

$$V_{S\ 0/4} = 40 \% V_G = \frac{40 \times 685.98}{100} = 274.39 \text{ litres}$$

Volume absolu du gravier 4/8 :

$$V_{g\ 4/8} = 8.5 \% V_G = \frac{8.5 \times 685.98}{100} = 58.31 \text{ litres}$$

Volume absolu du gravier 8/16 :

$$V_{g\ 8/16} = 51.5 \% V_G = \frac{51.5 \times 685.98}{100} = 353.28 \text{ litres}$$

III-4-9 Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable ; ciment et l'eau) pour 1 m³ de béton sont

Donnés par:

Eau := 212 kg/m³

Masse de ciment : = 400 kg/m³

Masse de sable 0/4: $M_{S0/4} = V_{S\ 0/4} \times \gamma_s = 274.39 \times 2.69 = 738.11 \text{ kg/m}^3$

Masse de graviers 4/8 : $M_{g4/8} = V_{g\ 4/8} \times \gamma_{g4/8} = 58.31 \times 2.68 = 156.27 \text{ kg/m}^3$

Masse de graviers 8/16 : $M_{g8/16} = V_{g\ 8/16} \times \gamma_{g8/16} = 353.28 \times 2.68 = 946.79 \text{ kg/m}^3$

Totale : = 2453.17 kg/m³

Rapport E/C : = 0.53

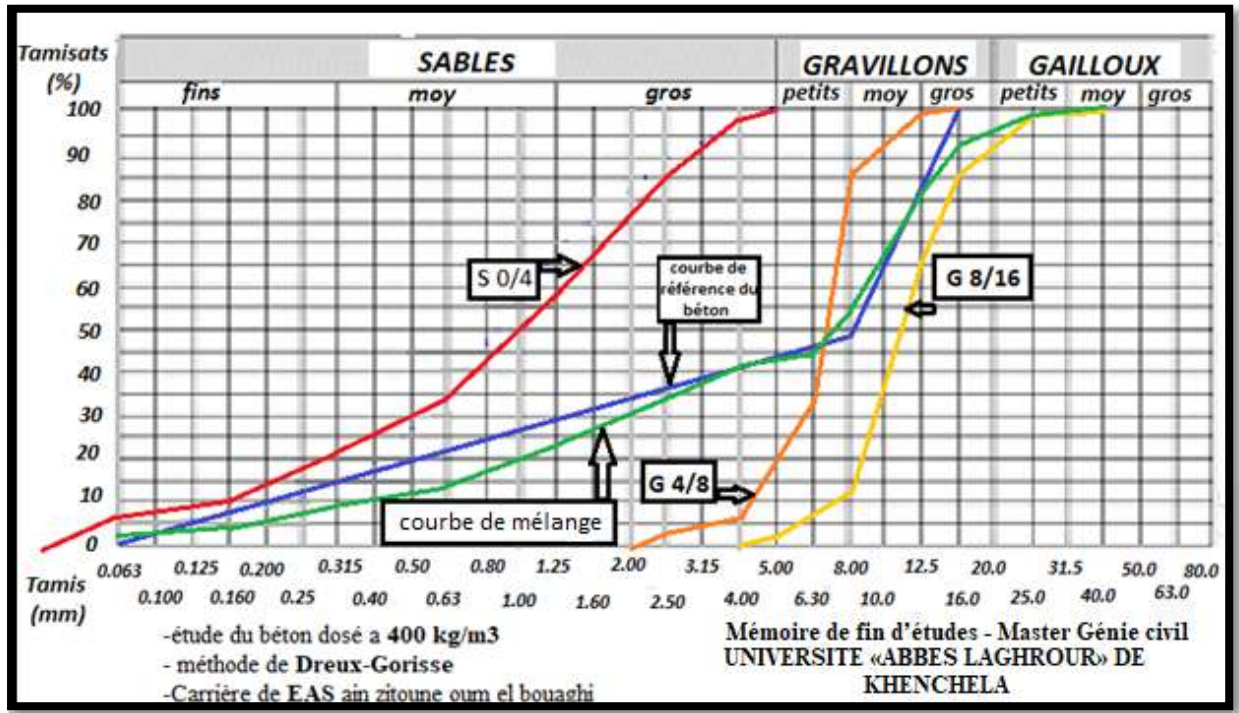
RAPPORT G/S : = 1.49

Remarque : Le volume de l'adjuvant ajouté n'est pas pris en considération durant la formulation par la méthode de DREUX-GORISSE.

III-4-10 Calculer et tracer la courbe de mélange

TAMIS	SABLE 0/4	GRAVIER 4/8	GRAVIER 8/16	MELANGE
31.5	40	8.5	51.5	100
25	40	8.5	51.09	99.59
16	40	8.5	44.21	92.71
12.5	40	8.47	33.56	82.03
8	40	7.30	6.94	54.24
6.3	40	2.92	1.93	44.85
4 - 5	38.92	0.53	1.93	41.38
2.5	34.12	0.25	0	34.37
1.25	23.16	0	0	23.16
0.630	13.47	0	0	13.47
0.315	8.56	0	0	8.56
0.160	4.04	0	0	4.04
0.063 - 0.080	2.32	0	0	2.32

Tableau 19 : Les coordonnées de la courbe de mélange



Courbe 04: courbe de référence et courbe de mélange

- **Remarque**

On retrouve dans l'étude de la courbe. Il y a une intersection en plus de deux points de la courbe de béton étudiée avec la courbe de référence De là nous concluons que l'étude du mélange de béton est très proche de la courbe de référence.

III– 5 les caractéristiques de Fibre métallique utilisée selon la fiche technique

NATURE	FIL D'ACIER
Longueur	50 mm
Diamètre	1.05 mm
Elancement	4.8
Nombre de fibres	2800 fibre/kg
Résistance en traction	1000 MPa (sur fil)
Température de fusion	1380 C°
Masse volumique	7.85 kg/dm ³

Tableau 20 : caractéristiques de Fibre métallique utilisée

III- 6 compositions des trois formulations du béton

Pour calculer le volume et la masse de la fibre nous procédons comme suit:

BFM 1: 0.6% pour un mètre cube du béton
 $0.006 \text{ m}^3 \times 7.85 \text{ t/m}^3 = 0.0471 \text{ t} = \underline{\underline{47.1 \text{ kg}}}$ par un mètre cube de béton

BFM 2: 1.2% pour un mètre cube du béton
 $0.012 \text{ m}^3 \times 7.85 \text{ t/m}^3 = 0.0942 \text{ t} = \underline{\underline{94.2 \text{ kg}}}$ par un mètre cube de béton

III – 6-1 tableau des compositions du béton pour un mètre cube de béton

Constituants	Fibres (%)	BO	BFM1 0.6 %	BFM2 1.2 %
Ciment	kg/m ³	400	400	400
Sable 0/4	kg/m ³	738.11	738.11	738.11
Gravier 4/8	kg/m ³	156.27	148.23	140.19
Gravier 8/16	kg/m ³	946.79	938.75	930.70
eau	L/m ³	212	212	212
Adjuvant	kg/m ³	3.2	3.2	3.2
Fibres métallique BFM	kg/m ³	//	47.1	94.2

Tableau 21 : compositions des bétons BO et BFM pour un mètre cube

III-6-2 Tableau de composition du béton pour le volume requis pour l'essai soit 0.01m³

Constituants	Fibres (%)	BO	BFM1 0.6 %	BFM2 1.2 %
Ciment	kg/m ³	4	4	4
Sable 0/4	kg/m ³	7.38	7.38	7.38
Gravier 4/8	kg/m ³	1.56.	1.48	1.4
Gravier 8/16	kg/m ³	9.46.	9.38	9.30
eau	L/m ³	2.12	2.12	2.12
Adjuvant	kg/m ³	0.032	0.032	0.032
Fibres métallique BFM	kg/m ³	//	0.471	0.942

Tableau 22 : compositions des bétons BO et BFM pour le volume requis pour l'essai

Le volume requis pour l'essai :

09 éprouvettes (10*10*10) cm : $(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \text{ m} \times 9 = 0.009 \text{ m}^3$

01 éprouvette pour les pertes de béton (10*10*10) cm : $(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \text{ m} \times 1 = 0.001 \text{ m}^3$

Donc, à la fin, nous trouvons que la somme est de 0,1 mètre cube, ce qui est le volume requis pour l'essai .

III – 7 Préparation des bétons et conduite des essais

Nous présenterons dans qui suit, les différentes étapes suivies et respectées pour la réalisation des essais sur les différentes compositions retenues.

III – 7-1 Malaxage et mise en place

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est un malaxeur à axe vertical planétaire d'une capacité de 180 litres [19].

Les séquences de malaxage suivies sont les suivantes :

- Pré mouillage du malaxeur pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois du malaxeur.
- Introduction des constituants solides en commençant par les graviers (3/8 et 8/15), le sable avec un temps de 1 minute.
- Introduction du ciment et les additions (FC) avec 2 minutes de malaxage.
- Ajout des fibres dans chaque mélange avec 1 minute de malaxage.
- Malaxage puis introduction de l'eau et adjuvant pour 3 minutes.



Figure –N° 25-:bétonnière de laboratoire utilisée.

III – 7-2 Mesure de la température du béton et température ambiante

Nous avons mesuré, à l'aide d'un thermomètre digital (Figure –N°30-), la température du béton juste l'opération de remplissage des moules. Rappelons que l'opération de préparation des éprouvettes s'est étalée sur plusieurs semaines, avec un risque d'écart de températures[20].



Figure –N° 26- : Thermomètre digital utilisé pour la mesure de la température.

Désignation	BFM 1	BFM 2
Température °C ambiante	13.2	11.0
Température °C Du béton	18.6	15.9

Tableau 23 : Température ambiante lors du coulage des bétons

La température ambiante est relativement basse en ce mois de février. Ce facteur aura une conséquence sur l'évolution des résistances des bétons notamment au jeune âge.

III – 7-3 Mesure de l'affaissement au cône d'Abram's

Cet essai appelé encore, essai au cône d'Abram's, sert à mesurer la fluidité des bétons après gâchage [21].

Appareil utilisé

L'appareillage utilisé est composé :

- d'un cône, dont les dimensions intérieures sont :[(d =100) ; (D=200)] mm
- d'une plaque de base,
- d'une tige piquante en acier de 600mm de longueur et de 16mm de diamètre,
- d'un portique et un réglat pour mesurer l'affaissement,
- d'une truelle pour manipuler le béton.



Figure –N° 27- : cône d'Abram's.

L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage. Le résultat obtenu permet ainsi de classer les bétons. les quatre compositions gardent leur intégrité après affaissement du béton sous son poids propre.

Désignation du béton	BO	BFM 1	BFM 2
Affaissement (cm)	8.5	7.0	6.5

Tableau 24: Récapitulatif des résultats des essais d'affaissement.

Les affaissements mesurés varient entre 6 et 9 cm, les quatre compositions peuvent être classées dans la catégorie des "bétons plastiques".

III – 7-4 Mesure de la masse volumique des bétons à l'état frais

Cette mesure a pour but de vérifier si avec les dosages pratiqués pour la fabrication du béton on obtient bien un mètre cube de béton. La tolérance admise étant de 5%. L'obtention d'une masse volumique réelle supérieure à la masse volumique théorique indique que l'on obtient moins d'un mètre cube, et le béton a un dosage en ciment plus riche que celui prévu, réciproquement lorsque la masse volumique réelle est inférieure à la masse volumique théorique, la composition donne plus d'un mètre cube de béton, et le béton est sous dosé en ciment. Les corrections à apporter sur la composition doivent toujours se faire sur les granulats. L'essai est assez simple et nécessite peu de moyens. Il suffit de remplir un moule de volume connu (V) (dans les mêmes conditions que celle du chantier) et de le peser, soit une masse (M).

La masse volumique se déduira alors de :

$$\text{Masse volumique du béton} = M / V$$

Les mesures expérimentales des densités à l'état frais ont été effectuées sur des moules éprouvettes cubiques 10x10 x10 cm.

Les résultats des essais de la masse volumique à l'état frais des trois bétons sont présentés dans le tableau 25 .

Désignation du béton	Masse volumique expérimentale (kg/m ³)	Masse volumique théorique (kg/m ³)	Ecart (%)
B O	2451	2456	0.20
BFM 1	2481	2487	0.24
BFM 2	2510	2518	0.32

Tableau 25: la masse volumique expérimentale et théorique

III – 7-5 Fabrication des éprouvettes

C'est une étape importante dans la chaîne de contrôle du béton. Il s'agit de prélever de petit volume de béton et de réaliser des éprouvettes qui permettront de caractériser les qualités du béton .

Après mise en place du béton dans les moules (éprouvettes cubiques de dimension (10*10*10) cm), ils sont laissés pendant 24 heures dans la salle de fabrication avec une protection d'un film de plastique souple [22].

III – 7-6 Conservation

Après la fabrication des corps d'épreuve, on couvre leurs parties apparentes (facettes supérieures d'un film plastique, pour éviter tout départ d'eau ou échange avec le milieu extérieur. Après 24 heures, on effectue le démoulage. Par la suite, les éprouvettes sont conservées dans un bac rempli d'eau jusqu'au moment de l'essai .



Figure –N° 28- : Bassin de conservation des éprouvettes

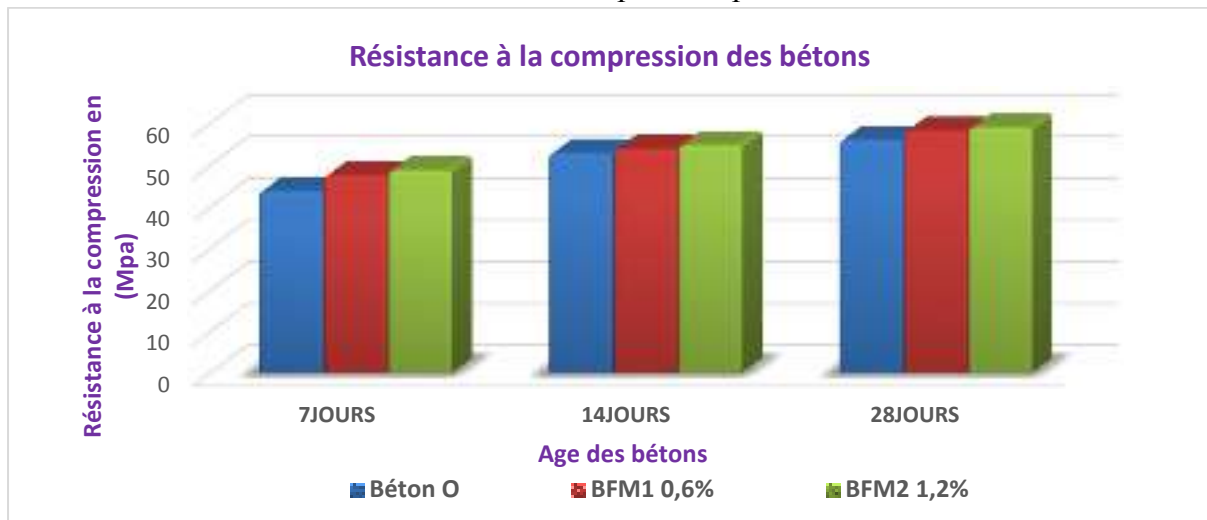
CHAPITRE IV ESSAIS MECANIQUES

IV-1 Essai de compression

Les tests de compression ont été réalisés au niveau du laboratoire de matériaux de construction sur des éprouvettes cubiques de dimension (10*10*10) cm l'aide d'une machine d'essai «UTEST» de 2000 KN de capacité, les résultats obtenus figurent sur le tableau 26

	Béton O	BFM1 0,6%	BFM2 1,2%
07JOURS	43,84	47,51	48,74
14JOURS	52,89	53,85	54,78
28JOURS	56,03	58,24	59,01

Tableau 26 : essai de compression pour notre étude



IV-2 Evolution de la résistance durant le temps

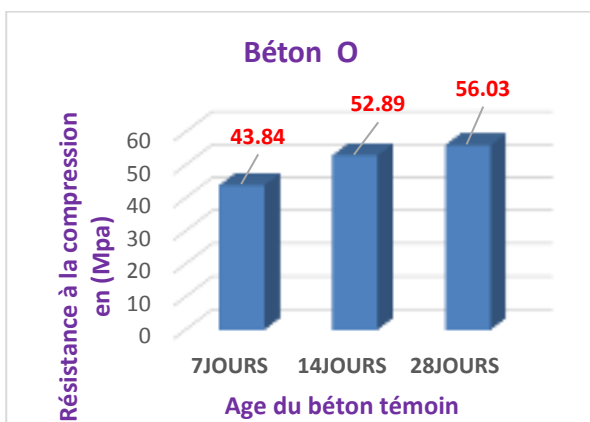


Figure –N°29-:évolution de la résistance à la Compression pour le béton témoin

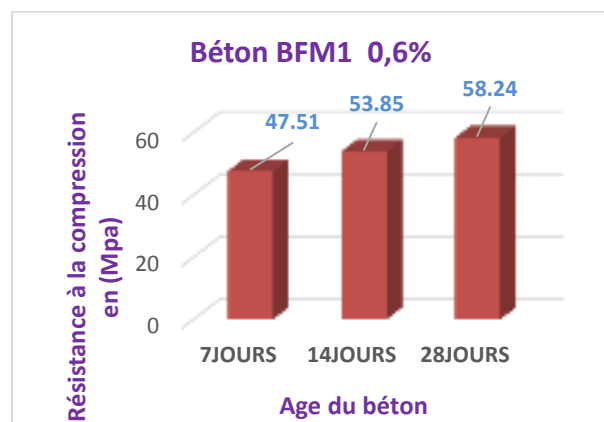


Figure –N°30-:évolution de la résistance à la Compression pour le béton fibré 0,6%.

D'après les résultats obtenus, on peut constater que la résistance à la compression augmente dans le temps pour les différents types de bétons (de 07 jours à 28 jours), soit pour le béton ordinaire (béton témoin) que le béton fibré avec les deux dosages. De même on constate que le gain de résistance durant la variation de l'âge du béton est plus importante pour le béton ordinaire que le béton fibré.

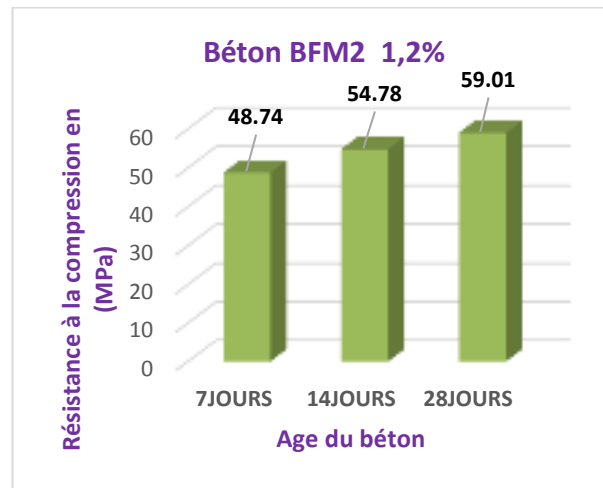


Figure –N°31--évolution de la résistance à la Compression pour le béton fibré 1,2%.

IV-3 Effet du dosage des fibres métalliques sur la résistance à la compression du béton

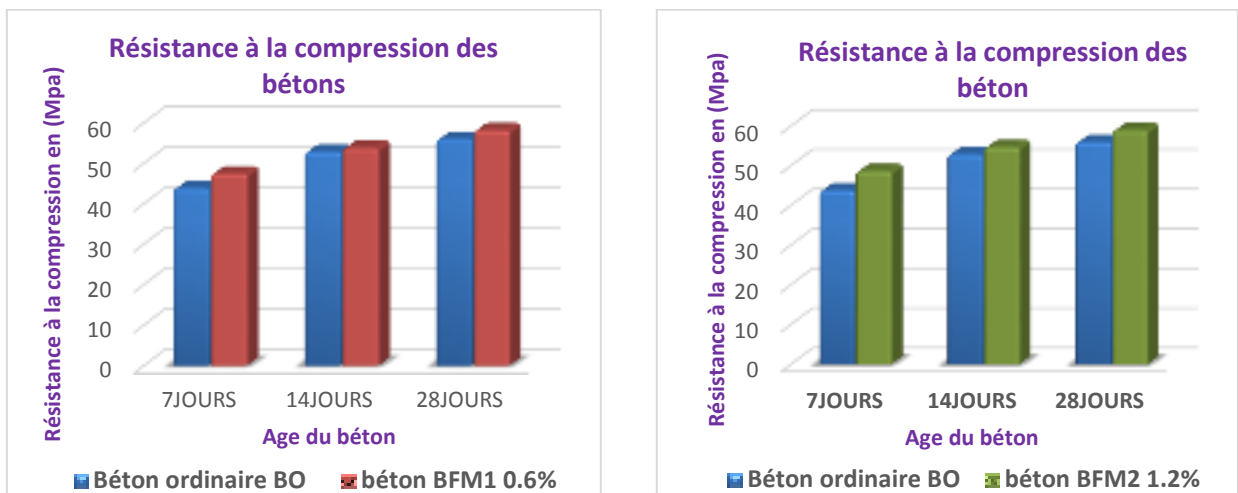


Figure –N°32--Effet du dosage en fibres métalliques sur la résistance à la compression du béton.

En analysant les résultats obtenus, on peut conclure que les résistances à la compression des bétons fibrés (BFM1 0,6%) et (BFM2 1,2%) sont plus importantes que celle du béton ordinaire et durant les différentes étapes durant le temps.

On remarque aussi que le dosage en fibres métalliques 1,2 % donne des résistances à la compression au béton (59,01 MPa), supérieure à celle du dosage 0,6% (58,24 MPa).

Conclusion:

D'après les résultats précédents, on peut conclure que :

- La résistance à la compression ne connaît aucune diminution en introduisant de la fibre métallique durant le temps du durcissement du béton mais au contraire, il existe une augmentation pour tous les types de bétons.
- L'introduction des fibres métalliques durant la préparation du béton frais, améliore sa résistance à la compression et donne des bonnes résultats.
- En augmentant le dosage en fibres métallique durant le malaxage du béton, la résistance à la compression du béton durci s'améliore

IV-4 La phase de rupture du béton après l'essai de compression

Durant l'essai de compression effectué sur les éprouvettes cubique 10x10x10 cm, et en s'approchant progressivement de la résistance de rupture, on remarque l'apparition de fissures de direction verticales et qui s'ouvrent progressivement jusqu'à la ruine de l'échantillon.

La rupture des éprouvettes en béton ordinaire est brutale par contre celle des éprouvettes en béton fibré est progressive jusqu'à l'endommagement et la ruine. Dont le rôle principal des fibres métalliques, de tenir les différents composants du béton.



Figure –N°33-:Fissuration brutale des éprouvettes en béton ordinaire et sa ruine à l'état de rupture

IV-5 Influence des fibres métalliques et leur dosage sur la masse volumique du béton

Avant de passer aux essais mécaniques, les éprouvettes ont été séchées à 105 ± 5 °C, et pesées, la masse volumique moyenne obtenue, est donnée par le tableau suivant :

	BO	BFM1	BFM2
Masse volumique Kg/m ³	2456	2487	2518

Tableau 27: Masse volumique des différents bétons

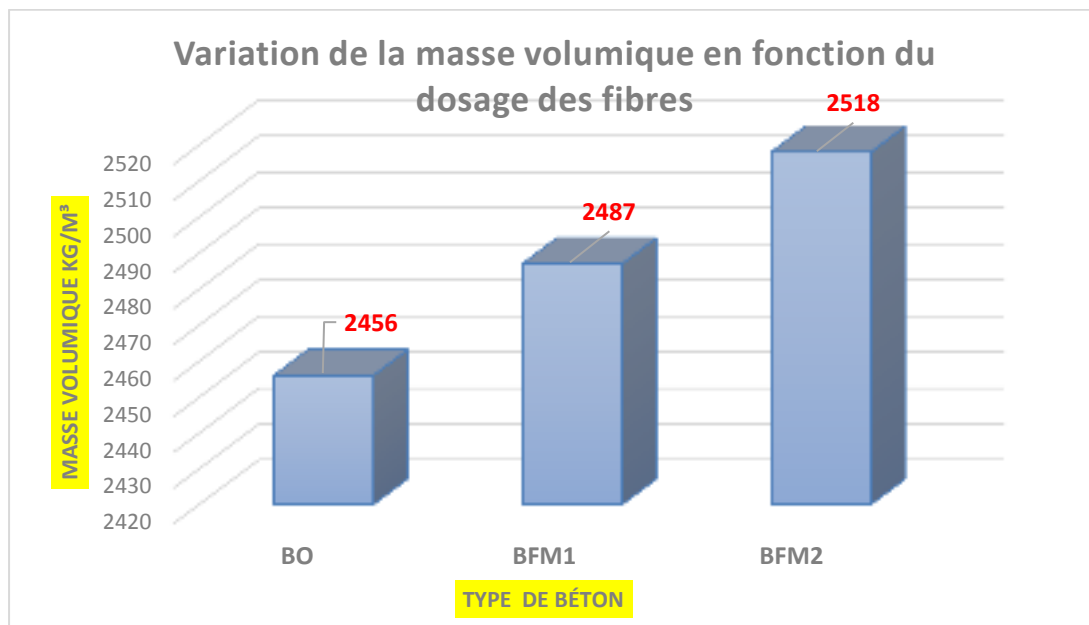


Figure –N°34-: Influence du dosage des fibres métalliques sur la masse volumique du béton

Le tableau ci-dessus et la figure –N°35- nous montrent que la masse volumique du béton varie, en fonction du dosage des fibres, la masse volumique du béton (BFM1) est supérieure à celle du béton ordinaire, alors que celle du béton (BFM2) a la plus grande valeur.

On peut le justifier par la masse volumique de la fibre métallique ($7,85 \text{ t/m}^3$) qui est

IV-6 étude comparative

IV-6-1 Introduction

L'étape importante de la recherche est la comparaison entre les résultats. Dans notre recherche, nous comparerons nos résultats avec d'autres résultats de recherche similaires à notre étude.

Cette recherche (recherche pour les étudiants de l'Université Kasdi Merbah Ouargla en 2013) consiste à étudier des essais sur béton avec des fibres métallique, et cette étude est la plus proche de notre étude. Nous mentionnons quelques rapports et chiffres proches de notre étude.

NB

Etude N 01notre recherche

Etude N 02recherche pour les étudiants de l'Université Kasdi Merbah Ouargla en 2013

IV-6-2 Présentation des résultats d'analyse pour le gravier et le sable pour l'étude comparative

A/ Gravier

Le gravier utilisé provient d'une roche calcaire de la région de Laghouat. Pour la formulation du béton on a choisi deux fractions, G3/8 et la fraction G8/15.

B/ Sable

_ le sable de dune SD provenant de la région Nord de la ville de Laghouat (HAMDA).

_ le sable alluvionnaire SA a été extrait de l'Oued M'zi (région de Laghouat).

Les propriétés physico-mécaniques des granulats utilisés sont représentées dans le **tableau 28**

Propriétés mesurées	SD	SA	G3/8	G8/15
Masse volumique absolue ρ_s (kg/m ³)	2667	2500	2667	
Masse volumique apparente ρ_a (kg/m ³)	1481	1549	1358	1481
Equivalent de sable E_{sv}, E_{sp} (%)	93 91	90 88	/	
Module de finesse M_f	1,23	2,79	/	
Coefficient d'absorption A_b (%)	0,50	1,20	1,12	1,81
Propreté superficielle P (%)	/		2,4	0,73
Coefficient de Los Angeles L_A (%)	/		28,76	

Tableau 28: Propriétés physico-mécaniques des granulats utilisés

IV-6-3 Comparaison de la composition du béton à partir des rapports G/S et E/C

Concernant le rapport G/S, nous notons qu'il y a une convergence dans les résultats, soit une différence de 0,05. Ce qui ne constitue pas une différence significative par rapport à la fluidité du béton par rapport à l'état frais (comparaison des deux études). Quant à la résistance, il existe de nombreux facteurs Rapport. **Tableau 29** et **Tableau 30** .

Et aussi pour le rapport E/C, qui ne fait pas une grande différence, qui est de 0,02. De là, nous concluons que les deux études en termes de rapports et en termes de dosage du ciment et de type de fibre , nous pouvons comparer ces deux études, **Tableau 29** et **Tableau 30**

	Ciment	Eau	G/S	E/C	LF (mm)
Etude N 01	400	212	1.49	0.53	50
Etude N 02	400	220	1.54	0.55	50

Tableau29 : les résultats (rapports) de deux études

Longueur de fibres (mm)	% de Fibres	Sable SD	Sable SA	Gravier G3/8	Gravier G8/15	Fibres	% de SP	Ciment	Eau
0	0,00	214,15	499,67	186,69	911,49	0,00	0,00	400	220
50	0,50	212,57	496,12	185,32	904,80	39,00	0,30	400	220
	1,00	212,00	492,56	183,95	898,11	78,00	0,30	400	220

Tableau 30: Compositions du béton pour l'étude comparative

IV-6-4 Résultats d'essais et discussions (essai de compression) .

La valeur moyenne de la résistance à la compression obtenue sur cubes (10x10x10) cm

	Béton O	BFM1 0,6%	BFM2 1,2%
07JOURS	25,20	27,48	28,14
14JOURS	26,48	28,94	30,24
28JOURS	31,60	32,06	32,91

Tableau 31 : essai de compression simple pour l'étude comparative

Dans les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus

Nous notons que les résultats de la compression dans notre étude sont supérieurs aux résultats de l'étude comparative. Les possibilités qui peuvent affecter cette différence sont mentionnées comme suit.

- Possibilité d'un résultat négatif dans les analyses de coefficient d'aplatissement **A**(aucune analyse n'a été réalisée pour cette étude).
- La probabilité de la différence dans les analyses de Los Angeles **LA** influence les résultats de la compression
- Probabilité dans la préparation des moules en béton
- La possibilité de Conservation du béton dans l'eau (température de l'eau. Propreté de l'eau.

Conclusion générale

Dans le but de confier au béton une bonne ductilité, on a essayé d'introduire des fibres métalliques pour parer à sa faible résistance à la traction et augmenter sa résistance à la compression, l'objectif de notre étude.

D'après les résultats obtenus de notre étude expérimentale, on peut conclure ce qui suit :

- Le béton fibré présente un comportement mécanique amélioré (résistance de compression) par rapport au béton ordinaire (sans fibres). Une augmentation remarquable due à la forme des fibres que s'adhèrent et s'accrochent au squelette du béton.
- La masse volumique du béton fibré est supérieure à celle du béton témoin, vu que la masse volumique des fibres métalliques ajoutées au mélange du béton $7,85\text{t/m}^3$ est plus importante que celles des constituants du béton.
- L'augmentation du dosage des fibres métalliques assure une augmentation de la résistance à la compression du béton (cette augmentation normalisée a certainement une limite, arrivée à un certain dosage la résistance diminuera).

En attendant de réaliser dans l'avenir des essais de traction (traction par flexion) sur le béton pour approuver nos conclusions et enrichir notre domaine de recherche.

fiche technique 01

المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر



Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

رقم التسجيل التجاري: 0405255813
RIB BEA: 602 90110 1102200048 02

المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

شركة الإسمنت سيقوس - أم البواقي

Société des Ciments de Sigus S.C.S

شركة رأس مالها الإجمالي: 3.000.000.000DA

رقم الضريبة:

N° Article:

04080503501

الرقم التجاري:

NIF:

001304040826891

الرقم الإحصائي:

NIS:

001304060006900

FICHE DE QUALITE

PRODUIT CEM II /A - L 42,5 N

Conformément à la Norme NA 442 édition 2013

Caractéristiques Physico-Mécaniques

Désignations	Unité	Garanties NA 442	Moyenne Obtenue
Poids Spécifique (NA2595)	g/cm ³	/	3,10
Surface Spécifique Blaine (NA 231)	cm ² /g	/	3800
Consistance Normale (NA 230)	% H ₂ O	/	26
Temps de Prise (NA 230)	Début	min	≥ 60
	Fin	min	/
Expansion à Chaud (NA 230)	mm	≤ 10	0.61
Refus sur Tamis 45 µm (NA 231)	%	/	12
Chaleur d'hydratation (NA 5061)	41 h	J/g	≤ 270
Résistance à la Flexion (NA 234)	02 Jours	Mpa	/
	28 Jours	Mpa	/
Résistance à la Compression (NA 234)	02 Jours	Mpa	≥ 10
	28 Jours	Mpa	≥ 42,5

Compositions Chimiques

Éléments	Garanties NA.442	Teneur %	Moyenne Obtenue
SiO ₂	/	20 - 22	21
Al ₂ O ₃	/	4 - 6	4.5
Fe ₂ O ₃	/	3 - 3,6	3.2
CaO	/	55 - 65	63
MgO	/	1 - 2	1.3
K ₂ O	/	0,3 - 0,6	0.4
Na ₂ O	/	0,04 - 0,1	0.05
SO ₃	≤ 3,5 %	1,8 - 2,5	2
Cl	≤ 0,1 %	0 - 0,01	0.008
PAF (NA235)	/	≤ 5	≤ 5
CaO L	/	0,8 - 2,2	0.9
Résidus insolubles	/	≤ 5	≤ 5

% Des Constituants

CLINKER	80 - 94
CALCAIRE	06 - 20
GYPSE (Régulateur De Prise)	00 - 05



Route Nationale N°10 - Ouled Khaled
Tassas, Sigus, Oum El Bouaghi- Algérie



+213(0)32.56.83.83



+213(0)32.56.83.84

scsigus@gmail.com

www.scsigus.dz

MasterGlenium® 26

Superplastifiant, haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

MasterGlenium 26 est un adjuvant non chloré à base d'éther polycarboxylates modifié.

Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton où haute qualité, durabilité, performance et ouvrabilité sont requises.

La nouvelle chimie du MasterGlenium

MasterGlenium se différencie des superplastifiants traditionnels par son action nouvelle et originale qui améliore de façon très significative le pouvoir dispersant sur le ciment. Cette nouvelle structure chimique agit sur le grain de ciment par répulsion électrostatique et effet stérique, c'est à dire en créant un obstacle physique au rapprochement des particules de ciment. L'état dispersé est ainsi amélioré.

De plus, cette réaction est la combinaison de deux actions successives. Dès l'incorporation du MasterGlenium dans le mélange cimentaire, une première partie active agit immédiatement et la seconde est présente mais inactive. L'hydratation du ciment, qui se déroule normalement, fait évoluer le pH du mélange vers la basicité, ce qui provoque la libération progressive des molécules complémentaires. Celles-ci travaillent de la même manière que les premières et prolongent donc l'état de dispersion évitant ainsi la floculation et donc le raidissement précoce du mélange.

DOMAINES D'APPLICATION

MasterGlenium 26 est particulièrement recommandé pour l'élaboration de béton nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et des performances mécaniques initiales élevées.

MasterGlenium 26 est donc adapté à l'industrie du béton prêt-à-l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Recommandé pour les usages suivants :

- Bétons à très long maintien d'ouvrabilité
- Fondations profondes (parois moulées, pieux...etc.),
- Pompage de longues distances
- Bétons de bâtiment, ouvrages d'art et tunnels
- Béton Auto Plaçant /Béton Auto Nivelant
- Bétons à faible E/C et long maintien d'ouvrabilité

PROPRIÉTÉS ET AVANTAGES

MasterGlenium 26 a un excellent effet d'ouvrabilité qui permet de conserver une maniabilité très plastique ou fluide pendant plus de 1h 30 avec un faible rapport eau/ciment et sans effet de retard de prise.

Il apporte les avantages suivants au niveau de la mise en place, des performances et de la qualité intrinsèque du béton.

Augmente :

- La résistance à la compression à jeune âge et à long terme
- La résistance à la flexion à jeune âge et à long terme
- Le module d'élasticité
- La résistance à la carbonatation
- L'imperméabilité
- La résistance aux agressions atmosphériques
- La qualité des parements et de la texture du béton

Diminue :

- La vibration
- Le retrait
- Le risque de fissuration
- Le fluage

CARACTÉRISTIQUES*

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité à 25 °C	1,05g/cm ³ ± 0,02
Chlorures	<0,01%
pH	7 ± 1
Taux des alcalins	< 2%

MODE D'EMPLOI

MasterGlenium 26 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé isolément. L'effet optimal est obtenu par incorporation du MasterGlenium 26 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70 % d'eau de gâchage dans le malaxeur. Toutefois, il est possible d'incorporer le MasterGlenium 26 dans l'eau de gâchage. Eviter d'ajouter le MasterGlenium 26 sur les granulats.

DOSAGE

Plage normale d'utilisation

0,3 à 2,0 % du poids du ciment, soit 0,26 à 2,66L pour 100kg de ciment.



We create chemistry

MasterGlenium® 26

Superplastifiant, haut réducteur d'eau

Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF CC.

NORMES

MasterGlenium 26 est conforme aux normes :

- ASTM C-494 Type F&G
- BS EN 934-2
- NF EN 934-2+A1

CONDITIONNEMENT

MasterGlenium 26 est disponible dans les conditionnements suivants :

- Conteneur de 1000 litres
- Fût de 210 litres
- En vrac

COMPATIBILITÉ

MasterGlenium 26 est compatible avec la majorité des ciments.

MasterGlenium 26 n'est pas compatible avec les superplastifiants MasterRheobuild

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

MasterGlenium 26 ne contient aucune substance exigeant un label particulier.

STOCKAGE

MasterGlenium 26 doit être stocké à l'abri du soleil et protégé des températures extrêmes.

DURÉE DE VIE

La durée de conservation est de 12 mois, lorsqu'il est stocké comme signaler dans la fiche de données de sécurité.

Note : *Les propriétés inscrites sont basées sur des tests de laboratoire contrôlés.

BIBLIOGRAPHIES

- [01] MAHITAVELO Zafindro Andréas Delphin - UNIVERSITE D'ANTANANARIVO (cotribution a la valorisation de la bagasse-application a la fabrication de béton de fibre)[02] GHARIBI Wahiba - Université Frères Mentouri (INFLUENCE DES FIBRES VEGETALES SUR LE COMPORTEMENT DES BAP SOUS ENVIRONNEMENT AGRESSIF)
- [03] GHARIBI Wahiba - Université Frères Mentouri (INFLUENCE DES FIBRES VEGETALES SUR LE COMPORTEMENT DES BAP SOUS ENVIRONNEMENT AGRESSIF)
- [04] Madame MAKHLOUF Née CHERGUI NADIA - Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou (CARACTERISATION EN STATIQUE DU COMPORTEMENT EN TRACTION DIRECTE DU BETON ARME DE FIBRES EN COPEAUX)
- [05] Azizi Moussa et Aissou Lyes -Université de Tébessa (Travaux publics)
- [06] ASB. Association du béton Québec. Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton, Bibliothèque nationale du Québec, Québec,2005.
- [07] P.K. MEHTA, " Concrete: structure, properties, and materials ", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey,1986, 450p.
- [08] A. BOUHERAOUA, Effets des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton, étude expérimentale, Thèse de magister 2006, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006.
- [09] A. ADJRAD, Renforcement du béton par des copeaux métalliques, étude Expérimenta le et modélisation", Thèse de magister 2000. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2000.
- [10] analyses granulométriques norme NF P18-560
- [11] Coefficient d'aplatissement norme NF P18-561
- [12] Los Angeles norme NF P18-573
- [13] Micro deval norme NF P 18.572
- [14] la masse volumique apparente norme NF P 18.554
- [15] la masse volumique absolue norme NF P 18.555
- [16] module de finesse norme NF P18-540
- [17] équivalents de sable norme NF P18-598
- [18] G. DREUX et J. FESTA (1995), "Nouveau guide de béton et de ses constituants". Edition EYROLLES.7 éme Edition 1995.

BIBLIOGRAPHIES

- [19] Malaxage du béton norme NFP18-404.
- [20] norme du béton NF EN 206-1 CN
- [21] norme de Mesure de l'affaissement NF EN 12350-2
- [22] Fabrication de l'éprouvette norme NF P 18 442
- [22] Conservation de l'éprouvette norme NF EN 12390-2