



Université Ahmed DRAIA d'ADRAR
Faculté de la science et de la technologie.
Département génie civil



Mémoire de Master II

En génie civil

Option Géomatériaux et Structures

Présenté par

Mr LAROUCI BELKHIR

Thème

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE BETON DES FIBRES METALLIQUES (LES COPEAUX DE RECUPERATIONS)

Soutenue le : 25/05/2017

Devant le jury composé de :

AIT HAMOUDA Khadidja
BENNACER Lyacine
BALEGH Benmamer

MAA, Université d'Adrar
MCB, Université d'Adrar
MAA, Université d'Adrar

Présidente
Encadreur
Examineur

اهداء

الى الوالدین العزیزین

والی کل من ساهم فی هذا العمل من قریب او من بعید دون تخصیص

Résumé

Ce travail a consisté à 'étudier l'influence des fibres métalliques d'origine des copeaux (déchets) sur le comportement mécanique du béton (résistance à la compression et à la traction), ces fibres provenant des déchets métalliques industriels (copeaux des pipes de transport d'hydrocarbures par canalisation). Pour étudier la formulation de béton en adoptant comme critère la maniabilité et la consistance du béton renforcé par ces fibres, afin d'obtenir une formulation adéquate et un pourcentage optimal des fibres métalliques sur la base d'une série de essais mécaniques, à la fin des essais de comparaison avec les fibres normalisées, seront nécessaires pour valoriser notre type de fibres afin de nous conclurons ce travail sur la base des résultats obtenus.

L'utilité de ce travail est d'avantager l'utilisation des fibres de d'origine des déchets d'industries dans les domaines de construction, et par conséquent la création des nouveaux domaines d'activités économiques et par la suite l'enrichissement par nos marchés par des produits locaux.

Mots clés : fibres métalliques, déchet d'industries, essais mécaniques, formulation, copeaux

Abstract

This work consisted in "studying the influence of the metallic fibers of origin of shavings (waste) on the mechanical behavior of the concrete (compression resistance and in the drive), these fibers resulting from industrial metallic waste (shavings of the pipes of transport of hydrocarbons by pipe). To study the concrete formulation by adopting as criterion the handiness and the consistency of the concrete strengthened by these fibers, to obtain an adequate formulation and an optimal percentage of the metallic fibers on the basis of one to put into series mechanical tests, at the end the tries(essays) of comparison with fibers to normalize(standardize), will be necessary to value our type(chap) of fibers to we shall conclude this work on the basis of the obtained results(profits)

The utility of this work is to favor the use of the fibers of origin of the waste of industries in the domains of construction, and consequently the creation of the new economic fields of activity and afterward the richly by our walking(steps) by local products.

Key words: Metallic fibers, waste of industries, mechanics tests, formulation, shavings

LISTE DES TABLEAUX

-Tableau I.1: La résistance caractéristique du béton.....	5
-Tableau I. 2: Tableau récapitulatif de classement des aciers.....	7
-Tableau I.3: Tableau synthèse des analyses du diagramme de déformations limites.....	8
-Tableau I.4 :: récapitulatif des contraintes de béton et acier aux différents états de sollicitation.....	9
-Tableau III.5: Les principales études publiées dans le domaine de BRFM.....	17
-Tableau III.6: Tableau récapitulatif des différents ouvrages réalisés en BFM et les avantages correspondants	20
Tableau V.7: La composition chimique du métal de base de pipe.....	30
-Tableau V.8: Récapitulatif des masses volumiques apparentes des agrégats et sable.....	32
-Tableau V.9: Récapitulatif des masses volumiques absolues des agrégats et sable.....	33
-Tableau V.10: Résultat de l'essai de l'équivalent du sable.....	34
-Tableau V.11: Résultat de l'essai de bleu de méthylène.....	35
-Tableau V.12: Résultat de coefficients d'absorption de l'eau.....	35
-Tableau V.13: Résultat de propreté des agrégats.....	36
-Tableau V.14: Les différentes classes des agrégats.....	36
-Tableau V.15: Résultat d'essai de LA.....	37
-Tableau V.16: Résultat d'essais chimiques.....	37
-Tableau V.17: Analyse granulométrique du sable.....	39
-Tableau V.18: Analyse granulométrique des agrégats 3/8.....	40
-Tableau V.19: Analyse granulométrique des agrégats 8/15.....	41
-Tableau V.20: Analyse granulométrique des agrégats 15/25.....	42
-Tableau V.21: Coefficient d'aplatissement des agrégats 8/15.....	43
-Tableau V.22 : Coefficient d'aplatissement des agrégats 15/25.....	44
-Tableau V.23: Valeurs approximatives du coefficient granulaire.....	45
-Tableau V.24 : Valeur de terme correcteur.....	46
-Tableau V.25: Coefficient de compacité.....	48
-Tableau V.26 : Résultats de maniabilimètre selon le dosage d'eau.....	51
-Tableau V.27: Classement de maniabilité de béton.....	51
-Tableau V.28: Classes de consistance Vébé.....	52
-Tableau V.29 : Formulation de BFM.....	53
-Tableau VI.30: Résultats d'essais de compression.....	58
-Tableau VI.31: Résultats d'essai de traction par flexion.....	61
-Tableau VI.32: Résultat d'essai de traction par fendage.....	64
-Tableau VI.33: Résultats comparatifs entre BFM et BFMN.....	66
-Tableau VI.34: récapitulatifs des résultats comparatifs d'essais mécaniques entre BFM et BFMN.....	67

LISTE DES FIGURES

-Figure I.1: Diagramme contrainte-déformation sous sollicitation de compression du béton.....	6
-Figure I.2: Diagramme réel de contraintes – déformation du l'acier.....	7
-Figure I.3: Diagramme de déformation limite d'une section en béton armée.....	8
-Figure II.4: Schémas descriptif comment les fibres couvrent les microfissures.....	13
-Figure II.5: Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (Bencardino. 2008).....	14
-Figure II.6: Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres.....	15
-Figure II.7: Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré (Casanova 1996 et 1997).....	15
-Figure II.8: Deux courbes de rapport S/G en fonction du temps d'écoulement et l'affaissement.....	16
-Figure V.9: Courbe d'analyse granulométrique du Sable.....	39
-Figure V.10 : Courbe d'analyse granulométrique des agrégats 3/8.....	40
-Figure V.11 : Courbe d'analyse granulométrique des agrégats 8/15.....	41
-Figure V.12: Courbe d'analyse granulométrique du gravier 15/25.....	42
-Figure V.13: Courbes récapitulative d'analyse granulométrique des agrégats.....	43
-Figure V.14: Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement A au cône d'Abrams).....	46
-Figure V.15: La courbe de référence (OAB).....	47
-Figure V.16: Pourcentage des agrégats.....	48
-Figure V.17: La position correcte des éprouvettes prismatique dans le dispositif de la flexion sur 4 points.....	56
-Figure VI.18: Courbe de contrainte du béton à la compression en fonction du pourcentage de fibres.....	59
-Figure VI.19: Courbe de contrainte du béton à la traction en fonction de pourcentage de fibres.....	62
- Figure VI.20: Courbe de contrainte du béton à la traction par fendage en fonction de pourcentage de fibres.....	65
-Figure VI.21: Courbe combiné des contraintes du béton à la traction par flexion et par fendage en fonction de pourcentage de fibres.....	66

LISTE DES PHOTOS

-Photo I.1: Villa témoin en béton armé de Francois Hennebique à Bourg la Reine construire entre 1894 et 1904.....	4
-Photo II.2: Quelque type des fibres.....	12
-Photo II.3: Les différentes formes des fibres métalliques.....	13
-Photo III.4: Différents types des ouvrages réalisés en BFM.....	21
-Photo V.5: La source et l'origine des fibres.....	27
-Photo V.6: Résultats de chanfreineuses après l'opération de fraisage.....	30
-Photo V.7: Les fibres après traitement manuel.....	31
-Photo V.8: Fibres normalisées d'une forme ondulée	32
-Photo V.9: Mesure de la masse volumique apparente.....	32
-Photo V.10 : L'essai de l'équivalent du sable.....	34
-Photo V.11: L'essai de bleu de méthylène.....	35
-Photo V.12: Essai de détermination Coefficients d'absorption de l'eau.....	35
-Photo V.13: Essai de LOS ANGELES.....	36
- Photo V.14: Essai chimique.....	37
- Photo V.15: Teste de maniabilimètre.....	50
-Photo V.16: maniabilimètre.....	51
-Photo V.17: Essai de VEBE.....	52
-Photo V.18: Outillage de préparation et confection des éprouvettes (Malaxeur verticale, Moules cubiques, prismatiques et vibreur.....	54
-Photo V.19: Appareils de chargement.....	55
-Photo V.20: Dispositif pour la flexion sur 4 points.....	55
-Photo V.21: La position correct des éprouvettes pour l'opération de traction par fendage.....	57
-Photo VI.22: L'état de l'éprouvettes après une sérier de quatre rechargements successifs.....	60
-Photo VI.23: La distribution des fibres dans le béton.....	60
-Photo VI.24: L'état de l'éprouvettes BRFM après 4 rechargements successifs.....	63
-Photo VI.25: Des différents éprouvettes sans et avec fibres métalliques après l'essai de fendage.....	65
-Photo VI.26: Comportement des éprouvettes BRFMN lors les essais mécaniques...	68
-Photo VI.27: la forme des éprouvettes avec BFMN après la distraction.....	68

Tables des matières

INTRODUCTION GENERALE :

INTRODUCTION GENERALE:.....	1
Partie I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
CHAPITRE I : CARACTERISTIQUE DU BETON ET BETON ARME.....	3
I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. CARACTERISTQUES DU BETON.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Historique.....	3
I.2.3. Caractéristiques des Matériaux Constituant le Béton et le Béton Armé.....	4
I.2.3.1. Résistance du béton.....	4
I.2.3.2. Déformation du béton.....	5
I.2.3.3. Les aciers du béton armé.....	6
I.2.3.4. Le béton armé.....	7
CHAPITRE II : Les FIBRES ET LES BETONS DES FIBRES.....	10
II.1. Définition.....	10
II.2. Historiques des fibres.....	10
II.3. Les fibres.....	11
II.4. Le rôle des fibres dans le béton.....	12
II.5. Les fibres métalliques.....	13
II.6. Influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton.....	14
II.6.1. Comportement en compression.....	14
II.6.2. Comportement en traction.....	14
II.7. Formulation du BRFM.....	16
CHAPITRE III : HISTORIQUE D'UTILISATION ET DOMAINE D'APPLICATION DES FIBRES DANS LES CONTRUCTIONS.....	17
III.1. Chronologie des principales études publiées dans le domaine de BRFM.....	17
III.2. Domaine d'utilisation des fibres.....	19
V. CONCLUSION ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	24
Partie II : ETUDE EXPERIMENTALE	26
CHAPITRE V : MATERIELS ET METHODES.....	26

V.1. NTRODUCTION	26
V.2. MATERIAUX UTILISE	26
V.2.1.Les liants.....	26
V.2.2. Les sables.....	26
V.2.3. Les granulats.....	27
V.2.4. Les fibres métalliques.....	27
V.2.4.1. Les déchets des récupérations.....	28
V.2.4.2. Les fibres normalisées	31
V.3. FORMULATION DU BETON.....	32
V.3.1. Les essais d'identifications de matériaux	32
V.3.1.1 La masse volumique.....	32
V.3.1.2. L'équivalent du sable.....	34
V.3.1.3. Essai de bleu méthylène.....	34
V.3.1.4. Coefficient d'absorption d'eau.....	35
V.3.1.5. Essai de propriété des agrégats.....	36
V.3.1.6. Essai de Los Angeles.....	36
V.3.1.7. Essai chimiques.....	37
V.3.1.8. L'analyse granulométrique.....	38
V.3.1.9. Essai d'aplatissement.....	43
V.3.2. Composition de béton par la méthode DREUX Gorisse.....	44
V.3.2.1. Donnés de base.....	44
V.3.2.2. Dosage du mélange.....	44
V.4. LES ESSAIS ET MODES OPERATOIRES	53
V.4.1. Programme des essais.....	53
V.4.2. Confection des éprouvettes	54
V.4.3 Modes opératoires des essais	54
V.4.3.1. Maniabilité (ouvrabilité) et consistance.....	54
V.4.3.2. Compression.....	54
V.4.3.3. Traction par flexion sur quatre points.....	55
V.4.3.4. Traction par fendage.....	56
CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTRPRETATION.....	58
VI.1. Résultats et interprétations des essais mécaniques à la compression	58

VI.2. Résultats et interprétations des essais mécaniques à la traction par flexion.....	61
VI.3. Résultats et interprétations des essais mécaniques à la traction par fendage..	64
VI.4. Valorisation des résultats des essais mécaniques entre BFM et BFMN.....	66
V.II. CONCLUSION ETUDE EXPERIMENTALE.....	80
CONCLUSION GENERALE	

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un terme générique, qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir des composants de base qui sont :

- Le ciment.
- Les granulats (de différentes dimensions).
- L'eau.

Donc le béton est un excellent matériau composite, ce matériau est présent dans tous les domaines de la construction et dans tous les ouvrages, que ce soit dans les bâtiments d'habitation ou industriels, les ponts, les tunnels, les barrages et dans les corps de chaussées des autoroutes et piste d'aérodromes

Le béton est un matériau plastique dans l'état frais lors la présence de l'eau dans sa matrice, donc le béton est un matériau modulable lors sa mise en œuvre, après durcissement le béton devient un bloc massif, donc les propriétés de résistance dépendent, en grand partie, de sa composition de départ.

Le béton présente une résistance importante à la compression par contre à la traction, une faible performance, parce qu'il contient des microfissures dans les zones tendues, pour cela il doit être renforcé dans la plupart des cas par des armatures en acier.

Depuis son invention et sa première mise en œuvre, de nombreuses recherches et études ont été réalisées pour améliorer les caractéristiques et le comportement de béton surtout la traction [18].

Depuis quarante ans, de nouvelles techniques et méthodes ont été développées sur la base des thèses et des théories basées sur l'incorporation des fibres dans la matrice de béton, tant les fibres métalliques, plastiques ou autres, ce type de béton dit le béton renforcé par les fibres

Le but de notre travail est d'étudier le comportement de béton à la présence des fibres métalliques d'origine copeaux de l'industriel et la construction des pipes ligne de transport d'hydrocarbure, et les comparer avec les fibres normalisées.

Le métal de base des pipes a de bonnes caractéristiques mécaniques, fabriqué pour supporter des hautes pressions de service jusqu'à 250 bars, avec une résistance mécanique entre 300 à 850 MPa à la traction (selon la nuance d'acier de classe A à X80, selon les normes des pipes) [20].

Dans la ligne de construction de pipe ligne, une opération de fraisage à froid est nécessaire sur les tubes d'acier avant les travaux de soudage, cette opération produit des copeaux métalliques sous forme de rouleaux spiraux de différents diamètres et dimensions géométriques.

Ces types de copeaux ont des caractéristiques homogènes (même nature d'acier), propres et ne supportent qu'une charge après la fabrication sauf l'opération du fraisage. Une opération de traitement manuel sur les rouleaux pour obtenir et produire des fibres de 2 à 3 mm de largeur et 3.5 à 5 cm de longueur avec une forme plate et courbée. Plusieurs séries d'éprouvettes, ont été réalisées, en béton renforcé par ces fibres à différents pourcentages et une seule composition du béton. Des essais destructifs sur ces éprouvettes à 28j : traction par flexion, traction par fendage et de compression.

Ce projet contient deux parties :

- Le premier parti de ce travail est consacré à l'étude bibliographique qui fait une synthèse sur l'état de l'art sur les bétons et béton armé en général et en particulier le béton de fibres métalliques.
- La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale, dans laquelle ont décrit la méthode de calcul de composition de béton, l'utilisation du maniabilimètre développé au LCPC et l'essai de Vébé pour la justification de comportement de bétons renforcé par les fibres métalliques à l'état frais. Puits les différents essais mécaniques sur les éprouvettes à 28 j, et l'interprétation différents résultats ont été enregistrés.

À la fin une conclusion générale qui proposera un pourcentage optimal en fibres métalliques avec quelque recommandation, perspectives et propositions pour obtenir une composition adéquate qui peut améliorer le comportement de béton à la traction.

PARTIE I

ETUDUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUE DU BETON ET BETON ARME

I.1. INTRODUCTION :

L'utilisation du béton est connue une révolution durable depuis sa naissance, pour cela nous essayons dans ce chapitre de résumer les principales connaissances de béton, Béton armé.

I.2. CARACTERISTIQUE DU BETON :

I.2.1. Définition :

Le béton est un terme générique, qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir des composants de base.

Dans le langage courant, le terme « béton » fait référence au « béton de ciment » car il s'agit du béton le plus courant, composé de ciment et des agrégats de sable et de gravier. Mais, en réalité, le terme « béton » désigne tout mélange utilisé pour réaliser des structures porteuses.

I.2.2. Historique :

Les Romains sont les premiers découvreurs du béton et ces constituants et sont les plus anciens utilisateurs de ce type de matériaux de construction, ils en confectionnaient à partir de la chaux, de céramique écrasée et de sable volcanique. Ils lui donnent le nom de chaux aérienne (car elle durcit à l'air).

Avec le temps le béton est devenu le matériau le plus utilisable dans les domaines de construction et dans tous les ouvrages.

Vu aux ses caractéristiques importantes, la résistance élevée, matériaux moulables, et vu aux besoins de l'humanité dans le monde (besoin architecture, économique, militaire etc...), les matériaux et les ouvrages en béton devenus des sujets de recherche pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et surtout à la traction.

Au début XIX^e siècle le domaine des ouvrages et la construction connaît le mariage de deux matériaux de construction très utiles, l'acier et le béton, est la naissance du béton armé.

En 1848 LAMBOT a imaginé l'association des barres d'acier et du béton de ciment pour la réalisation d'une barque (exposition universelle de 1855) [15 et 18].

Quelques années plus tard, J MONIER, un jardinier de Versailles a utilisé un procédé analogue pour fabriquer des caisses pour fleur. On lui attribue l'invention du BA qui a ensuite été exploité par les Allemands par l'entreprise MONIER BETON BRAU (brevet déposé en 1868) [15 et 18].

Ensuite HENNEBIQUE met au point les bases de calcul pour son utilisation rationnelle mais il faudra attendre 1897 pour que RABUT professe le premier cours de BA à l'ENPC. [15]. [18]

Auparavant, en 1891, COIGNET utilisa des poutres BA préfabriquées pour la construction d'un immeuble. [15 et 18]



Photo I.1: Villa témoin en béton armé de Francois Hennebique à Bourg la Reine construite entre 1894 et 1904 [23]

En 1906 paraît la première réglementation s'appuyant sur une méthode de calcul dite aux contraintes admissibles. La circulaire de 1906 sera remplacée par les règles BA45 puis BA60, BA68, BAEL80, BAEL83, BAEL90 et enfin BAEL91. Actuellement les règles EUROCODES.

I.2.3. Caractéristiques des Matériaux Constituant le Béton et le Béton Armé.

Le béton hydraulique est un mélange optimal de liants (ciments artificiels), de granulats naturels ou artificiels (sables, gravillons, graviers...), d'eau et éventuellement d'adjuvants (entraîneurs d'air, plastifiants, hydrofuges...)

Le ciment constitue la phase liante du béton, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres ; le sable, avec une taille de grains comprise entre 0.08 et 5 mm, les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 20 mm, et les pierres cassées entre 20 et 80 mm

A titre indicatif la composition du mélange du béton pour 1m^3 est :

- sable de 380 à 450 dm³.
- Gravier de 750 à 850.
- ciment de 300 à 400 kg/m³.
- eau de 150 à 200 litres/m³.

I.2.3.1. Résistance du béton.

Un béton est défini par des valeurs de sa résistance à la compression et à la traction à l'âge de 28 jours

La résistance à la compression dite valeur caractéristique requise (où spécifiée), elle est notée f_{c28} (l'unité en MPa), elle est choisie en fonction des conditions de fabrication du béton, de la classe de ciment utilisé et son dosage au m³, elle est définie aussi par essai de compression simple sur éprouvette cylindrique 16x32 cm (NF P 18-406). Les résistances peuvent être évaluées par les formules suivantes :

Tableau I.1 : La résistance caractéristique du béton

f_{cj}	$f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$	f_{cj}	$40 \text{ MPa} \leq f_{c28} \leq 60 \text{ MPa}$
$J < 60$	$\frac{j}{4.76 + 0.83 \cdot j} \cdot f_{c28}$	$J \leq 28$	$\frac{j}{1.40 + 0.95 \cdot j} \cdot f_{c28}$
$J \geq 60$	$1.10 \cdot f_{c28}$	$28 < j < 60$	Béton à haute résistance

La résistance du béton est également définie par la résistance caractéristique à la traction f_{tj} à j jours qui est conventionnellement introduite par la relation suivante :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$$

Les résistances caractéristiques en traction f_{tj} peuvent aussi être déterminées par essais :

- par l'essai de traction par flexion sur des éprouvettes prismatiques (NF-P 18-407)
- par l'essai de fendage ou essai brésilien sur des éprouvettes cylindriques (NF-P 18-408).

I.2.3.2. Déformation du béton.

Le béton et selon le sens de déformation est caractérisé par des modules et des coefficients de déformation selon la durée de rechargement :

La déformation longitudinale : le béton est caractérisé par deux modules de déformation selon la durée de rechargement :

- **Module de déformation instantanée E_{ij}** : durée d'application des charges moins de 24H : $E_{ij} = 11000 \cdot f_{cj}^{1/3}$ MPa.

- **Module de déformation différée E_{vj}** : pour une long durée d'application de la charge $E_{vj} = 3700 \cdot f_{cj}^{1/3}$ MPa.

La déformation transversale : elle est traduite par le coefficient de poisson qui est définie par le rapport entre la déformation relative transversale et la déformation relative longitudinale : $\nu = (\Delta d/d) / (\Delta l/l) = \begin{cases} 0.2 \text{ à ELS (section non fissuré)} \\ 0 \text{ à ELU (section fissuré)} \end{cases}$

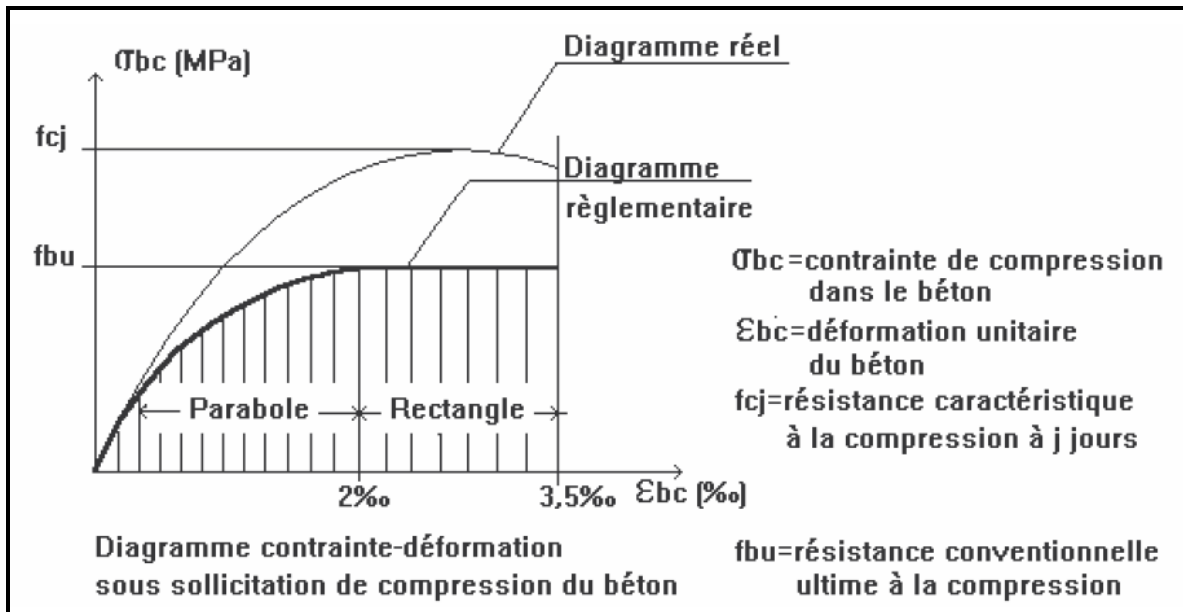


Figure I.1 : Diagramme contrainte-déformation sous sollicitation de compression du béton

La valeur f_{bu} de la contrainte de calcul pour une déformation supérieure ou égale à 2.10^{-3} est égal à :

$$\sigma_{bc} = \begin{cases} 0.6 \cdot f_{cj} & \text{si la déformation est inférieure } 2.10^{-3} \\ f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b} & \text{si la déformation est supérieure à } 2.10^{-3}. \end{cases}$$

$$\gamma_b = \begin{cases} 1,5 & \text{dans le cas général pour les combinaisons fondamentales} \\ 1,15 & \text{pour les combinaisons accidentelles} \end{cases}$$

$\theta =$

$$\begin{cases} 1 & \text{dans le cas général quand la durée d'application des charges considérée est } < 24 \text{ H} \\ 0,9 & \text{lorsque cette durée est comprise entre 1 heure et 24 heures} \\ 0,85 & \text{lorsqu'elle est inférieure à 1 heure} \end{cases}$$

I.2.3.3. Les aciers du béton armé.

Le matériau acier est un alliage fer et carbone en faible pourcentage. Les aciers utilisés en BA sont les aciers de nuance doux (0,15 à 0,25 % de carbone) et les aciers de nuance mi-dure et dure (0,25 à 0,40 % de carbone).

Le caractère mécanique servant de base aux justifications est la limite d'élasticité garantie, désignée par f_e . Cette valeur varie en fonction du type d'acier. Les aciers sont caractérisés par un module d'élasticité longitudinale noté E_s qui est pratiquement constant quel que soit le type d'acier utilisé et est pris égal à : $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$.

Les aciers utiles dans le béton armé sont les ronds lisses, les armatures à haute adhérence et les treillis soudés. Avec un poids volumique de $78,5 \text{ kN/m}^3$, ils sont classés selon la surface et la nuance.

Tableau I.2 : Tableau récapitulatif de classement des aciers

Nature	Diamètre courants	Nuance FE	Limite d'élasticité f_e	Contraintes à la rupture
Lisse	6-8-10-12mm	215	215 MPa	300---> 490MPa
		235	235 MPa	410--->490MPa
HA	6-8-12-14-16-20-25-32-40	400	400 MPa	480
		500	500	550
TSL	esp de 78 à 30 mm	500	-	550
TSLHA		500	-	500

Schémas suivants représente la contrainte des aciers en fonction des allongements

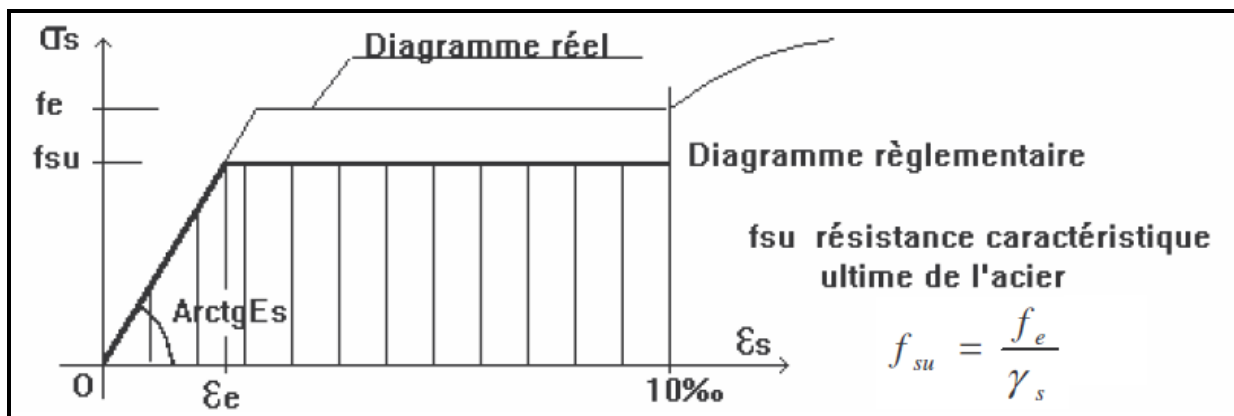


Figure I.2: Diagramme réel de contraintes – déformation du l'acier

$$\gamma_s = \begin{cases} 1.15 \text{ pour le cas général} \\ 1 \text{ pour le cas accidentelles} \end{cases} \text{ avec } \epsilon_e = f_e / (E_s \cdot \gamma_s)$$

Selon le diagramme de contrainte $\sigma_s = \begin{cases} E_s \cdot \epsilon \text{ dans la phase élastique} \\ f_{su} \text{ dans la phase plastique} \end{cases}$

À ELS $\sigma_s < \sigma_s$ (contrainte limite dépend type de fissuration)

I.2.3.4. Le béton armé

Le béton armé ne repose pas toujours sur des théories scientifiques. Les formules de calcul et les nombreux coefficients utilisés ont souvent un caractère empirique mais il est essentiel qu'ils aient été fixés à la suite de nombreux essais et que les résultats de calcul soient conformes à l'expérience.

Ses principales caractéristiques sont :

- Une très bonne résistance en compression simple, jusqu'à 40 à 50 MPa
- Une faible résistance en traction, de 10 à 15 fois moins qu'en compression.

- Un poids volumique compris entre 22 et 24kN/m³ environ pour le béton, et 25kN/m³ pour le béton armé.
- Un coefficient de dilatation thermique identique à celui de l'acier de 10-5/°C
- Il durcit progressivement dans l'air et dans l'eau.

La déformation d'une section en béton armé soumise à des sollicitations normales est représentée par une droite passant par l'un des pivots A, B et C. à l'intérieur ou à la frontière des domaines repérés 1, 2 et 3

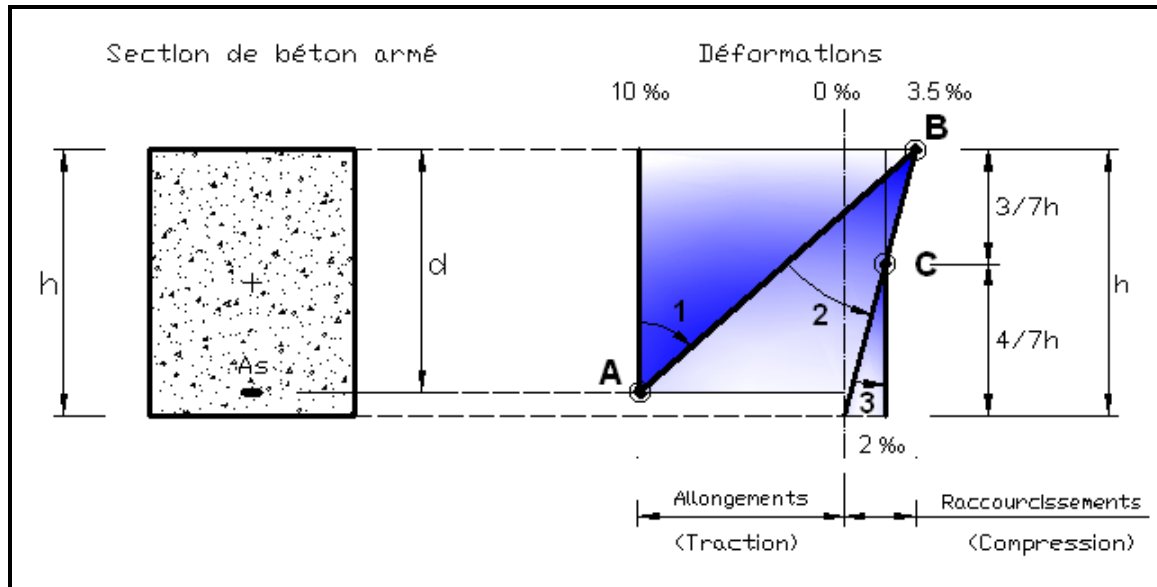


Figure I.3 : Diagramme de déformation limite d'une section en béton armée.

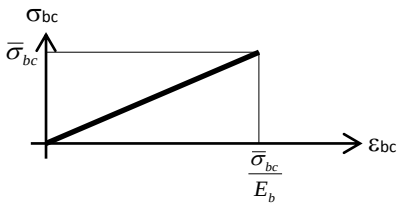
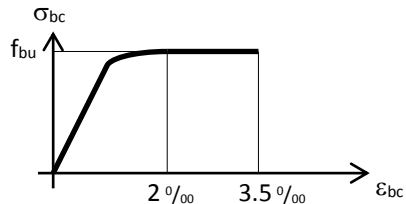
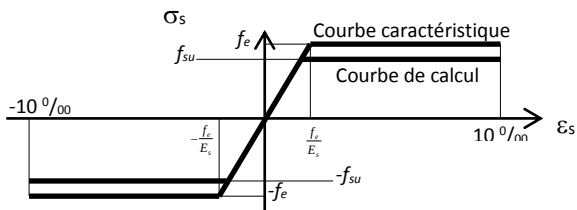
Le tableaux ci-dessous explique le domaine de comportement des sections de béton armé en fonction d'allongement des aciers et déformation du béton.

Tableau I.3: Tableau synthèse des analyses du diagramme de déformations limites

Pivot A Domaine 1	Pivot B Domaine 2	Pivot C Domaine 3
Allongement unitaires de l'acier $\epsilon_s=10\%$ Traction simple : -limite A, 10%. -la section entièrement tendue. Flexion simple ou composée : -acier tendue $\epsilon_s=10\%$. -béton partiellement comprimé $0\% \leq \epsilon_{bc} \leq 3.5\%$	Raccourcissement unitaires du béton comprimé : $\epsilon_{bc}=3.5\%$. Flexion simple ou composée. -acier tendue. -béton partiellement comprimé	Raccourcissement unitaires du béton comprimé : $\epsilon_{bc}= 2\%$ pour $Y_G= (3/7) h$. -compression simple. - Si la droite de déformation est parallèle à la droite représentative de la section avant déformation, sinon flexion composée.

Le tableau suivant résume les contraintes de béton dans les différentes sollicitations et pour les différents cas de rechargements

Tableau I.4 : Récapitulatif des contraintes de béton et acier aux différents états de sollicitation

Etat considéré	ELS	ELU
Béton		
Compression	$\sigma_{bc} \leq 0.6 f_{cj} = \bar{\sigma}_{bc}$	$f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\gamma_b}$ où $\gamma_b = 1.5$
Traction	$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$	
Cisaillement	-	$\bar{\tau}_u = \text{Inf} [5 \text{ MPa} ; 0.13 f_{cj}] \text{ (fpn)}$ $\bar{\tau}_u = \text{Inf} [4 \text{ MPa} ; 0.10 f_{cj}] \text{ (fp et ftp)}$
Modèle De calcul réglementaire	<u>Modèle élastique linéaire</u> 	<u>Diagramme parabole-rectangle</u> 
Etat considéré	ELS	ELU
Acier		
Fissuration nuisible	peu	rien à vérifier
Fissuration préjudiciable	$\bar{\sigma}_{st} \leq \text{Inf} \left[\frac{2}{3} f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right]$ où $\eta = 1$ pour RL et $\eta = 1.6$ pour HA	$f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s}$ où $\gamma_s = 1.15$
fissuration préjudiciable	très	
	$\bar{\sigma}_{st} \leq \text{Inf} \left[\frac{f_e}{2} ; 90 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right]$	
Modèle De calcul Réglementaire		

CHAPITRE II : LES FIBRES ET LES BETONS DES FIBRES

II.1. Définition :

Un béton fibré est un béton renforcé par des fibres, dans lequel sont incorporées des fibres dans la matrice du béton. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont des éléments courts, réparties dans la masse et le volume du béton, elles permettent de constituer un matériau plus homogène que le béton armé.

Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur le comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications et utilisations pour des ouvrages spécifiques.

II.2. Historiques des fibres :

Des analyses profondes de ce concept indiquent que cette idée est très ancienne et date depuis l'Antiquité. En effet les pharaons (les Egyptiens anciens) ont pensé à l'idée des pailles pour renforcer la brique de boue d'après le chercheur Exode comme il est le cas Finlandais utilisant pour la 1^{re} fois, les fibres d'amiante dans le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ANTOINE, E.N Mars 1985 et ACI COMMITTEE 554 Mars-Avril 1984 [15 et 18] ont indiqué que l'usage de cette technique par le biais de pailles afin de renforcer les briques, tandis que les poils des animaux et les fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. On peut noter aussi la réalisation, au milieu du XX^e siècle, d'alliages métalliques avec fibre de carbone.

M. BRAUN [15 et 18] et d'autres chercheurs, ont rapporté que la paille a été rajoutée dans des matériaux de construction tels que le mortier. Le plâtre...etc

Ensuite plusieurs chercheurs ont fait des études à la base des hypothèses sur l'idée de l'ajout et l'incorporation des fibres dans le béton pour le but de développement des théories réglementaires à la base des essais pratiques. En 1847, JOSEPH LAMBOT, en 1874 l'américain A.BERNARD, en 1899 LHATSHELS, en 1910 J.PORTER, en 1911 J.GRAHAM, en 1912 WEAKLY, en 1914 FICKLEY, en 1920 KLEINLOGEL, en 1938 N.ZITEVIC, en 1943 G.CONSTANTINESCO, en 1963 ROMAULDI et BATON. [15 et 18]

À partir des années 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technique des bétons renforcés de fibres d'acier. La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques de béton renforcée de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans des applications industrielles.

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS. [15 et 18]. Dans cet article, ils ont confirmé que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaires donne une amélioration significative à sa résistance.

II.3. Les fibres :

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

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

Les principales familles de fibres connues sont :

-les fibres minérales :

-fibres d'amiante, alumine, wollastonite, basalte, mica, ect..)

-les fibres végétales :

-fibres cellulose et fibres provenant de poils, liber, bois, palmier...ect).

-les fibres synthétiques :

-nylon, polypropylène, acrylique, polyester, polyamide, mélange polypropylène/polyéthylène, kevlar, aramide...ect).

-les fibres artificielles :

-fibres de verre, carbone, acier, fonte amorphe...ect).

Les principales fibres utilisées sont :

-fibres d'amiante.

-fibres cellulose.

-fibres polypropylènes.

-fibres de verre.

-fibres métalliques.



Fibres polypropylènes



Fibres métalliques



Fibres en caoutchouc sous formes des agrégats



Fibres des palmiers

Photo II.2: Quelque type des fibres

II.4. Le rôle des fibres dans le béton [19 et 25] :

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives (les ouvrages minces).

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives a :

- la cohésion du béton frais.
- la déformabilité avant rupture.
- la résistance à la traction.
- la ductilité et la résistance contre les fissures.
- la résistance aux chocs.
- la résistance à la fatigue.
- la résistance à l'usure.

- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;
- la tenue au feu ;
- La résistance à l'abrasion.

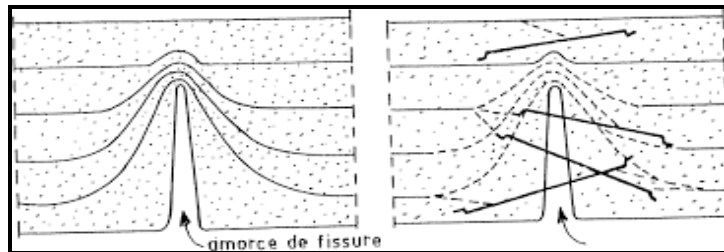


Figure II.4: Schémas descriptifs comment les fibres coudent les microfissures

II.5. Les fibres métalliques.

Les fibres métalliques, notamment d'acier, restent le plus important de type des fibres, des nombreuses recherches ont été faites pour développer leur emploi dans le béton. La recherche de l'adhérence au béton a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- fils étirés et coupés, ondulés crantés, torsadés, avec crochets...
- fibres usinées à surface rugueuse ;
- fibres de fonderie.

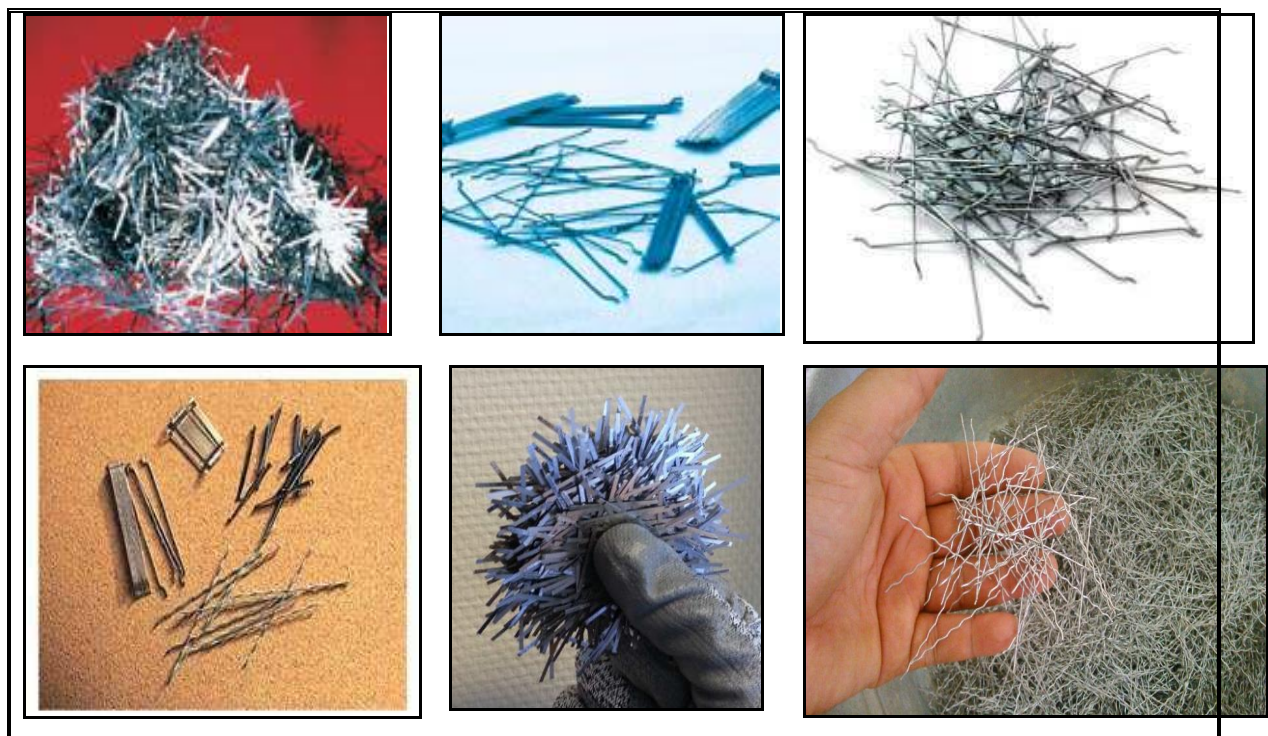


Photo II.3: Les différentes formes des fibres métalliques

II.6. Influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton

Les fibres ont généralement pour rôle le renforcement du béton en s'opposant à la propagation des fissures et en améliorant sa ductilité. Ses propriétés ont été analysées par plusieurs chercheurs à travers les études sur le comportement des BFM sous la compression, la traction, la torsion et le cisaillement.

II.6.1. Comportement en compression.

Des nombreuses études et recherches montrent que le comportement à la compression des BFM a légèrement changé par rapport au béton témoin. La résistance à la compression des BFM par rapport au BT varie selon le pourcentage des fibres. Tous les chercheurs ont montré la présence d'une ductilité.

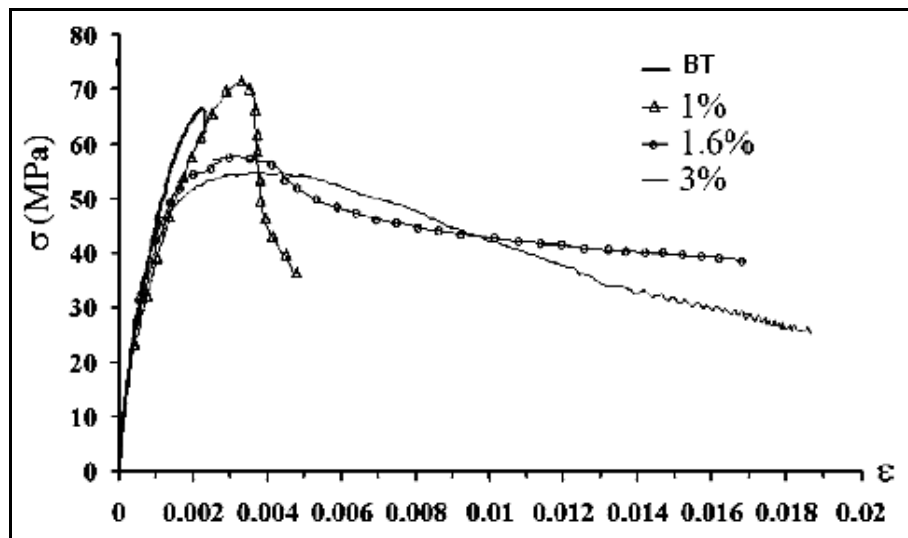


Figure II.5 : Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (Bencardino. 2008). [15 et 24]

II.6.2. Comportement en traction

La faible résistance à la traction du béton peut être compensée par l'ajout des fibres. Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la macro-fissuration. Le bon comportement en traction des bétons de fibres est donc la propriété majeure. Les études réalisent montrer que le comportement à la traction, la ductilité et la déformation des BFM sont nettement améliorées par rapport au béton de référence. Cette amélioration est influencée par la formulation, la qualité du béton, le dosage en fibres, le type, la géométrie et l'orientation des fibres.

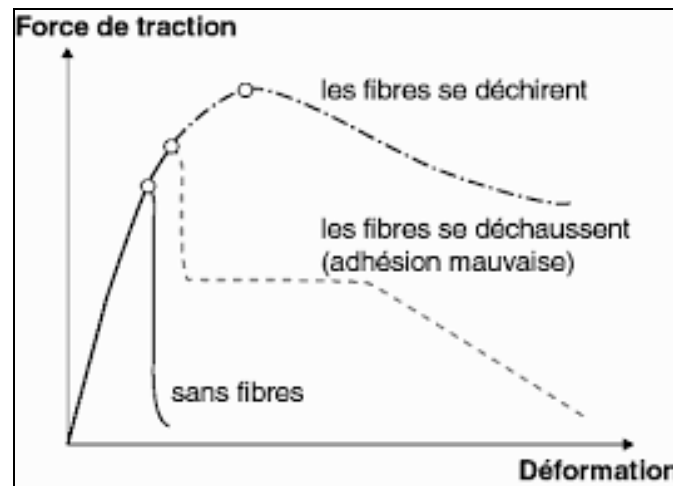


Figure II.6: Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres. [15]

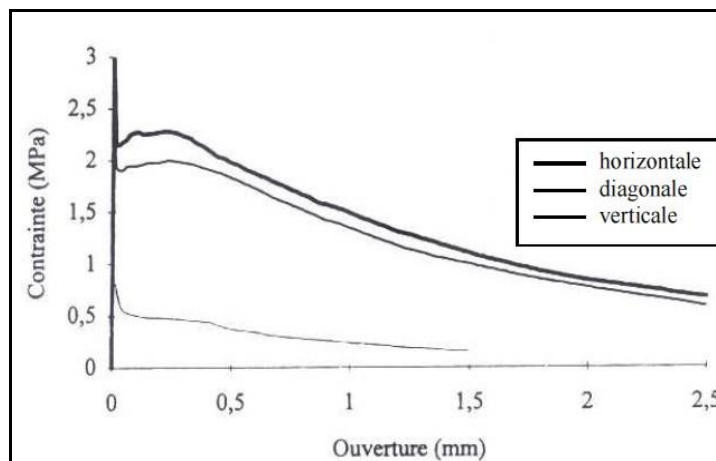


Figure II.7: Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré (Casanova 1996 et 1997). [6 et 24]

D'autres et plusieurs études et essais ont été réalisés sur différents comportements de béton renforcé par fibre métallique :

- comportement en torsion et en cisaillement.
- comportement au retrait et fluage.
- comportement dynamique.
- comportement à la fatigue.

Comme conclusion les études montrent que les contraintes de béton fibré sont liées aux plusieurs factures et paramètres dépendent essentiellement aux :

- la forme géométrique des fibres (plat, ondulé, ...etc.).
- la résistance des fibres à la rupture.
- le dosage des fibres.

-la longueur des fibres.

Ces paramètres influent essentiellement sur l'adhérence béton-fibres dans la matrice.

II.7. Formulation de BRFM.

La plupart des méthodes de composition et les formulations BRFM sont des méthodes empiriques, basées essentiellement sur un grand nombre d'études expérimentales et aboutissent à des recommandations qui ne sont pas adaptées à toutes les utilisations que l'on fait des BRFM.

Suivant l'application industrielle envisagée, la composition du BRFM. Doit être à chaque fois spécifique et conduire à une composition optimisée vis-à-vis de la nature des ouvrages, les objectifs et les buts visés.

Ainsi pour mieux optimisation de la composition des bétons de fibres métalliques le LCPC propose une méthode expérimentale basée sur la méthode Baron-Lesage, déjà utilisée pour les bétons courants.

La méthode de Baron-Lesage [11, 15 et 22] est basée sur deux hypothèses :

- pour un dosage en eau et ciment fixé au départ (E/C, fixé)
- le dosage optimal en granulats.
- Le cahier des charges d'un BFM permet généralement de fixer :
 - Le rapport eau/liant-Le diamètre du plus gros granulat-La géométrie et les dimensions de la fibre-Le pourcentage des fibres-La maniabilité souhaitée
- la détermination d'un rapport optimal de S/G et la maniabilité correspondante (une courbe de maniabilité en fonction de rapports S/G
- si la maniabilité correspondant à l'optimum du squelette optimal est différente de celle fixée par le cahier des charges, il suffit soit d'augmenter soit de diminuer le volume de liant, soit encore

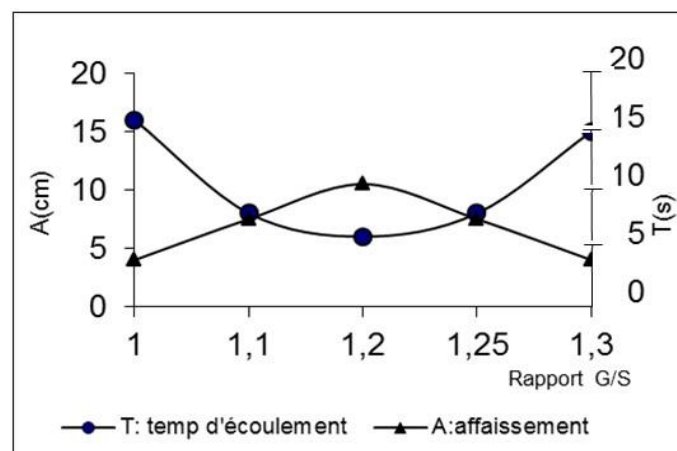


Figure II.8: Deux courbes de rapport G/S en fonction du temps d'écoulement et l'affaissement [22]

CHAPITRE III : HISTORIQUE D'UTILISATION ET DOMAINE D'APPLICATION DES FIBRES DANS LES CONTRUCTIONS

Les chercheurs archéologiques montrent que les fibres sont utilisées depuis les mondes antiques. À la première fois les fibres sont utilisées pour le renforcement

- des mortiers de colle entre les pierres.
- les mortiers de revêtements.
- les mortiers des pierres artificielles.

Ensuite avec le temps, après la découverte du béton et béton armé, après la révolution technologique et a grâce aux recherches scientifiques le béton fibré devient praticable et applicable dans plusieurs domaines de construction.

III.1. Chronologie des principales études publie dans le domaine de BRFM.

Le tableau ci-dessous récapitulé la chronologie des principales études et recherches publie qui ont une influence envisagée sur la révolution d'utilisation des bétons renforcés par les fibres dans les domaines de construction

Tableau III.5: Les principales études publie dans le domaine de BRFM [24].

Auteurs	Géométrie	Paramètres Variables	Essais de caractérisation	Modes de rupture
Batson 1972	100 poutres Rectangulaires 10,1 x15,2 x 198 cm	Fibres cylindriques plates ou ondulées $0 < V_f < 2,66 \%$	Compression	50% Flexion 40% Cisaillement 10% Mixte
Serna Ros 1984	3 poutres rectangulaires 25 x 55 x 700 cm	Fibres à crochets $V_f = 0,7 \%$ & 0%	Compression, Traction Directe flexion,	Flexion
Swamy 1985	9 poutres en T 17,5 50 x 30 x 340 cm 2 poutres rectangulaires 17,5 x 30 x 340 cm	Fibres ondulées $0 < V_f < 1,2 \%$	Compression Flexion,	20% Flexion 50% Cisaillement 30% Mixte
Sharma 1986	7 poutres rectangulaires 15 x 30 x 160 cm	Fibres à crochets $V_f = 0,9 \%$	Compression Trac- tion Par fendage,	Cisaillement
Mansur 1986	24 poutres rectangulaires 15 x 22,5 x 200 cm	Fibres à crochets $0 < V_f < 1 \%$	Compression Trac- tion Par fendage Traction uni axiale Flexion,	50% Flexion 50% Cisaillement
Narayanan 1987	50 poutres rectangulaires 8,5 x 15 x (90-129) cm	Fibres à crochets $0 < V_f < 3 \%$	Compression Trac- tion Par fendage	20% Flexion 80% Cisaillement

Lim 1987	22 poutres rectangulaires 15,2 x 25,4 x 200 cm	Fibres à crochets $V_f = 0\%, 0,5\% \& 1\%$	Compression Trac- tion uni axiale	25% Flexion 65% Cisaillement 10% Mixte
Valade 1987	15 poutres rectangulaires 12 x 25 x 160 cm	4 types fibres $V_f = 0\%, 0,4\%$ 0,7 % & 1%	Compression Flexion,	10% Flexion 90% Cisaillement
Tomaszewicz 1988	10 poutres rectangulaires 15 x 25 x 380 cm	Fibres à crochets $V_f = 1,15\%$	Compression Traction Par fendage	40% Flexion 60% Cisaillement
El Niema	10 poutres rectangulaires 10 x 20 x 210 cm	Fibres ondulées $0 < V_f < 1\%$	Compression Traction Par	100% Cisaillement
Ashour 1986	18 poutres rectangulaires 15 x 22,5 x 200 cm	Fibres à crochets $0 < V_f$	Compression ; Traction	20% Flexion 80% Cisaillement
Tan 1992	6 poutres en I 15 x 22,5 x 200 cm	Fibres à crochets $0 < V_f < 1\%$	Compression Traction Par fendage	100% Cisaillement
Swamy 1993	18 poutres en T 15 x 22,5 x 200 cm	Fibres à crochets $V_f = 0\% \& 1\%$	Compression Flexion,	Divers
Casanova 1996	5 poutres en T 45 x 80 x 620 cm 5 poutres rectangulaires	Fibres à crochets $V_f = 100\text{Kg/m}^3$	Compression Traction	Divers
Lim et Oh 1999	9 poutres rectangulaires	$V_f = 0\%, 1\% \& 2\%$	Compression-Flexion	cisaillement
Hartman 1999	12 poutres	Fibres de type Dramix RC-65/35 $V_f = 60 \text{ et } 100\text{Kg/m}^3$	Compression Flexion,	Divers
Ganesan et Shivananda 2002	Des Poutres	de 30 à 40 kg/m ³ .	Compression Flexion	Divers Etude du compor- tement à la fissura- tion
Yoon-Keun 2002	12 poutres	0 %, 0,5 % et 0,75 %	Compression-Flexion	Divers
Fritih 2009]	Poutre T 3 séries des poutres rectangulaires	0 % et 0,25 %	Compression Flexion	Flexion cisaillement
Cho 2009	Poutre rectangulaire	0,75 %	Compression-Flexion	cisaillement
Giovanni Martino- la 2010	3 Poutres rectangulaires	Microfibres d'acier 2,5% (en volume)	Traction directe Flexion	Flexion cisaillement
Ben said 2013	Prismes de dimensions 15x15x70 cm	0 %, 0,5 % et 1 % et deux élancements 65 et 80.	Compression Flexion	flexion

Les résultats de l'ensemble de ces études et les recherches dans le domaine de BRFM sont contribué et participé à la naissance des nouvelles réglementations et guides selon les normes connues :

-Européennes [09] :

-NF EN 14721+A1 Décembre 2007 « Méthode d'essai du béton de fibres métalliques - Mesurage de la teneur en fibres du béton frais ou durci ».

-Canadiennes [09] :

-CSA A23.1/.2 Béton : constituants et exécution des travaux/Essais concernant le béton.

Association canadienne de normalisation, Canada, 453 p. 2004.

- Appendice H : Béton des fibres ;
- A23.2-16C : Détermination du contenu en fibres métalliques dans le béton plastique.

-Americans (American Society for Testing and Materials, ASTM) [09]:

-ASTM A 820 Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete;

-ASTM C 995 Test Method for Time of Flow of Fiber-Reinforced Concrete Through Inverted Slump Cone.

-ASTM C 1018 Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading);

-ASTM C 1116 Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete;

-ASTM C 1399 Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete;

-ASTM C 1550 Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel).

-Japanizes [09]:

JCI-SF4 Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete. Japan Concrete Institute, Toyko, 1984.

III.2. Domaine d'utilisation des fibres [19] :

L'utilisation de ces bétons renforcés par fibres a connu des diverses applications :

- Ouvrages armés horizontaux,
- Aires de circulation et de stationnement soumis à des fortes sollicitations
- Quais d'entrepôts, plates-formes de stockage,
- Dallages extérieurs (aires de stockage agricole, déchetteries, stations-services),
- Fondations profondes,

- Fosses de réception d'ordures ménagères,
- Structures portuaires.
- Constructions anti-explosives.
- Les ouvrages minces
- Les ouvrages aient des formes géométriques Irrégulier.
- Travaux d'entretien et réparation des vestiges.
- Les chaussées rigides des aérodomes et des routes
- Béton projeté

Dans le tableau suivant en peut regrouper les différents ouvrages et domaine d'utilisation des fibres avec les avantages et les intérêts obtenus :

Tableau III.6: Tableau récapitulatif des différents ouvrages réalisés en BFM et les avantages correspondants :

APPLICATIONS	INTERET APORTE PAR L'ADJONCTION DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque mince s faiblement sollicitées.	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges. - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.
Dallage, chaussés en béton, dallages manufacturés, et tous éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	- diminution de 40% de l'ouverture de fissures. - augmentation de la rigidité après fissuration. - augmentation de la résistance au cisaillement. - augmentation de la résistance à l'usure.
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations...etc.)	- amélioration de la charge ultime, - pas de rupture catastrophique.
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles exp : piste d'aéroport.	- 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.	- amélioration de la résistance aux chocs, - amélioration de la déformation.
Partie s exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	- remplacement avec succès du revêtement réfractaire, - diminution le coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	- 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 ignifuge s isolants (construction navale). Panneaux de revêtement de façade...etc.	- augmentation de la résistance aux chocs, - augmentation de la résistance à l'usure, - augmentation de la durabilité de revêtement.

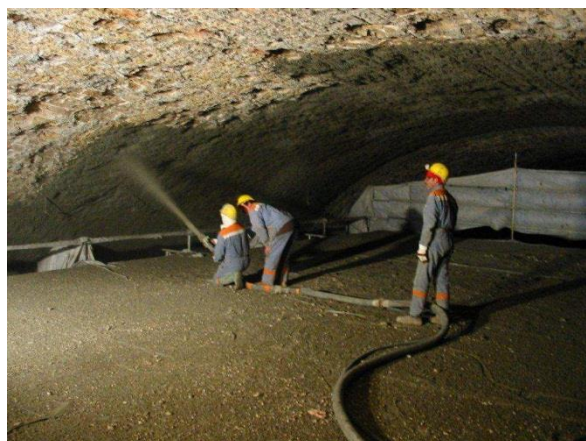
Les photos ci-dessous représentent les différents domaine d'utilisations des fibres et des différents ouvrages réalisés en BFM.



Renforcement des buses métalliques d'assainissement par chemisage à l'aide de la projection de BFM



Renforcement des caniveaux des eaux de ruissellement par la projection de BFM



Mise en œuvre de la coque de la structure de tunnels par projection du BFM (projeté)



Bétons de fibres pour des formes exceptionnelles



Panneaux légers et colorés en béton de fibres de verre.

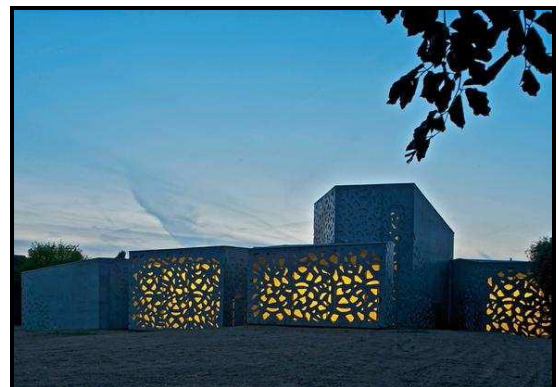
Bétons de fibres pour des panneaux décoratifs



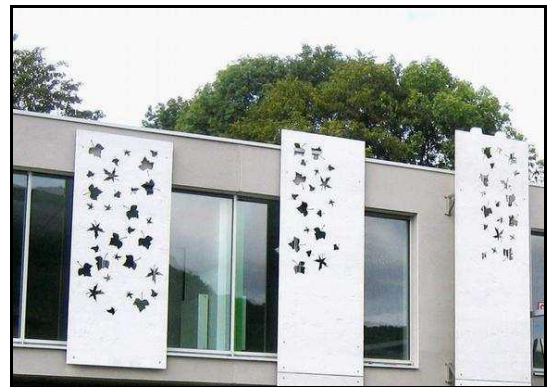
Le béton fibré pour le dallage industriel



Le béton fibré pour les ouvrages préfabriqués
(voussoirs des tunnels)



Musée d'art moderne Lilli Métropole, (France 2010)
Panneaux de façades légères et perforées



Centre culturel, Sdan (France 2008)

Ecole maternelle Pierre Vernier, Ornans (France)

Panneaux de façades légères et perforées



La gare ferroviaire de Shawnessy, Calgary (Canada) (24 coques en béton de 20 cm ép.)



Truite bondissante de Glenmore Elbow (Canada)

L'arbre Martel à Boulogne-Billancourt (France)



Abris à Tucson (Arizona, USA)

Mobilier urbain en ductal proposée par le fabricant Azuly . création Chartotte & Jean Jacques Hubert, avec Nicolas String



Campinale du palais de justice de Laval



Hôtel Rialto, Victoria (Canada)

Rénovation et réhabilitation des bâtiments anciens à l'aide de BRFM

Photo III.4: Différents types des ouvrages réalisés en BFM [10, 12, 13,17 et 23]

IV. CONCLUSION ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Comme conclusion l'utilisation des fibres métalliques dans les bétons :

- Améliore la résistance à la traction.
- Augmente la durabilité.
- Améliore la ductilité.
- Empêche et coudre les micros fissure.
- Facilité de la mise en œuvre et possible par des personnels moins qualifiés, pas de découpe et de pliage, donc un avancement plus rapide sur chantiers.
- Minimise et élimine le ferrailage traditionnel dans les ouvrages et les parois minces.
- L'utilisation des fibres minimise les couts et le temps la réalisation

Dans le cas général le renforcement du béton par des fibres reste un domaine innovant, nous allons nous intéresser en premier lieu à l'étude de l'effet des fibres sur le béton, en utilisant des matériaux locaux et matériaux d'origine de déchets récupérables pour la création d'un nouveau secteur d'activité économique dans le domaine de la construction et enrichissons notre marché local et d'autre part pour protéger notre environnement.

PARTIE II

ETUDUE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V : MATERIELS ET METHODES

V.1. INTRODUCTION :

Dans cette partie nous essayons de valoriser le comportement de béton renforcés par des fibres métalliques à la lumière des résultats des essais mécaniques à la compression, à la traction par flexion sur 4 points et à la traction par fendage, pour cela et selon la nécessité des essais, l'ensemble des essais ont été programmé au niveau de laboratoire des travaux publics (LTPS) unité de Ouargla.

V.2. MATERIAUX UTILISE :

Les bétons sont des mélanges de matériaux de construction qui contiennent du ciment (liant), de l'eau, du sable et des granulats des différentes dimensions et fractions.

V.2.1. Les liants :

Les ciments sont des liants hydrauliques qui se présentent sous forme de poudre minérale fine obtenues par la cuisson et broyage des mélanges minéraux, s'hydratant en présence d'eau, ils forment une pâte qui fait de la prise et qui durcit progressivement à la présence de l'air.

Il y a plusieurs types de ciments :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) CN (NF P 15-308)
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt...) CA (NFP 15-315) CNP (NFP 15-314)
- Les liants à maçonner CM : (NF P 15-307).
- Les chaux hydrauliques. XHN (NF P 15-310) XHA (NF P 15-312)

Le type de ciment utilisé pour notre étude est CPJ-CEMII/A dans la classe 42.5.

V.2.2. Les sables :

Les sables utilisés sont des sables de bonne granulométrie doivent des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les interstices entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : ils réduisent les variations volumiques, les dosages se feront en poids. Ils peuvent être :

- Naturels et roulés.
- Naturels concassés.
- Spéciaux (lourds réfractaires, légers) :
 - Sable de laitier.
 - Sables d'oxydes de fer, de chromite.
 - Sable de brique concassés.

Les sables peuvent se classer selon modules de finesse.

- Classe A : Préférentiel $2.20 < \text{module} < 2.80$.
- Classe B : peu trop fin $1.8 < \text{module} < 2.20$
- Classe C : peu trop grossier $2.8 < \text{module} < 3.20$

Le sable que nous avons utilisé pour notre composition devient de HASSI EL AGREB (5km vers l'Ouest de centre CIS de HASSI MASSOUD, d'un nature roulé.

V.2.3. Les granulats :

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans les diamètres varie de plus petit au plus gros :

Ils peuvent être :

- Naturels ou roulé.
- Naturels concassés

En a quatre fractions (classes) connue selon les diamètres :

- Petits : de 3 à 8 mm.
- Moyens : de 8 à 15 mm.
- Gros : de 15 à 25 mm.
- Très gros : 25 à 40 mm.

Pour notre cas, nous avons utilisés trois fractions du grave concasse 3/8, 8/15 et 15/25 du carrier de HAWDE EL HAMRA 30 km Nord-ouest de la ville HASSI MASSOUD côté gauche de la route nationale HASSI MASSOUD – TOUGGOURT.

V.2.4. Les fibres métalliques.

Le but de notre présente étude, est de l'utilisation des fibres d'origine des copeaux pour le remplacement des fibres normalisé dans la matrice de béton renforcé par fibres. Ces types des fibres proviennent des déchets de fraisage des tubes en acier avant les travaux de soudage et lors la construction des lignes de pipe

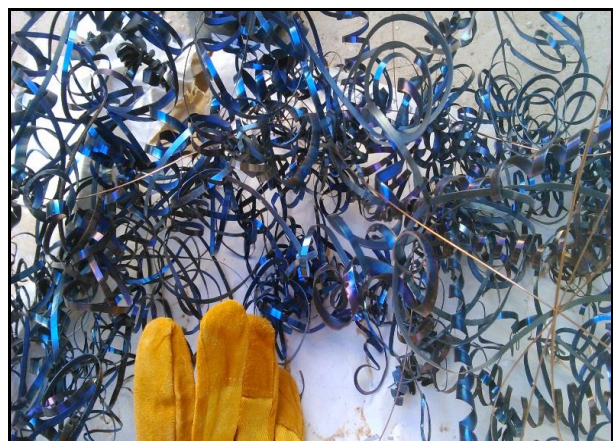


Photo V.5: La source et l'origine des fibres

Les fibres sujettes de la présente étude sont deux types des fibres :

V.2.4.1. Les déchets des récupérations : Les déchets des récupérations de l'opération des fraisages des tubes de pipe ligne avant le soudage L'acier des tubes fabriqué et soumis à des tests et essais selon les normes :

- American Petroleum Institute Standards (API).
- American Society Testing and Materials (ASTM).
- American Society for Mechanical Engineers (ASME).
- American Society for Non-Destructive Testing (ASNT).
- European Norms (EN).
- Fiche technique : de compositions chimiques des différents types de pipe utilise dans le domaine de transport d'hydrocarbure (selon la nuance). [20]

COMPOSITION CHIMIQUE (en %) SUR COULÉE ET SUR PRODUIT (Section 6)					
PSL 1					
Nuances	Carbone maxi (%)	Manganèse maxi (%)	Phosphore maxi	Soufre maxi	Autres
sans soudure					
A	0,22	0,90	0,030	0,030	
B	0,28	1,20	0,030	0,030	b, d
X42	0,28	1,30	0,030	0,030	c, d
X46, X52, X56	0,28	1,40	0,030	0,030	c, d
X60(e), X65(e)	0,28	1,40	0,030	0,030	c, d
X70(e)					
soudées					
A	0,22	0,90	0,030	0,030	
B	0,26	1,20	0,030	0,030	b, d
X42	0,26	1,30	0,030	0,030	c, d
X46, X52, X56	0,26	1,40	0,030	0,030	c, d
X60(e)	0,26	1,40	0,030	0,030	c, d
X65(e)	0,26	1,45	0,030	0,030	c, d
X70(e)	0,26	1,65	0,030	0,030	c, d
PSL 2					
Nuances	Carbone maxi (%)	Manganèse maxi (%)	Phosphore maxi	Soufre maxi	Autres
sans soudure					
B	0,24	1,20	0,025	0,015	b, d
X42	0,24	1,30	0,025	0,015	c, d
X46, X52, X56	0,24	1,40	0,025	0,015	c, d
X60(e), X65(e), X70(e), X80(e)	0,24	1,40	0,025	0,015	c, d
soudées					
B	0,22	1,20	0,025	0,015	b, d
X42	0,22	1,30	0,025	0,015	c, d
X46, X52, X56	0,22	1,40	0,025	0,015	c, d
X60(e)	0,22	1,40	0,025	0,015	c, d
X65(e)	0,22	1,45	0,025	0,015	c, d
X70(e)	0,22	1,65	0,025	0,015	c, d
X80(e)	0,22	1,85	0,025	0,015	c, d

-Fiche technique de la résistance à la traction et la limite d'élasticité des différents types de pipe utilise dans le domaine de transport d'hydrocarbure (selon la nuance). [20]

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES (Section 6)

PSL 1

Nuances	Limite élastique minimum		Résistance à la traction minimum		Allongement minimum (%), sur 50,8 mm (2")
	ksi	MPa	ksi	MPa	
A	30,0	207	48,0	331	a
B	35,0	241	60,0	414	a
X42	42,0	290	60,0	414	a
X46	46,0	317	63,0	434	a
X52	52,0	359	66,0	455	a
X56	56,0	386	71,0	490	a
X60	60,0	414	75,0	517	a
X65	65,0	448	77,0	531	a
X70	70,0	483	82,0	565	a

PSL 2

Nuances	Limite élastique				Résistance à la traction				Allongement minimum (%), sur 50,8 mm (2")
	mini		maxi (b)		mini		maxi (c)		
	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	
B	35,0	241	65,0(d)	448	60,0	414	110,0	758	a
X42	42,0	290	72,0	496	60,0	414	110,0	758	a
X46	46,0	317	76,0	524	63,0	434	110,0	758	a
X52	52,0	359	77,0	531	66,0	455	110,0	758	a
X56	56,0	386	79,0	544	71,0	490	110,0	758	a
X60	60,0	414	82,0	565	75,0	517	110,0	758	a
X65	65,0	448	87,0	600	77,0	531	110,0	758	a
X70	70,0	483	90,0	621	82,0	565	110,0	758	a
X80	80,0	552	100,0(e)	690	90,0	621	120,0	827	a

-(a) allongement minimal sur 50.8 mm (2") est calculé à l'aide de la formule métrique suivant : $e=1.944 (A^{0.2}/U^{0.9})$ dans laquelle :

-e= allongement minimal sur 50.8 mm (2") en pourcents arrondi au plus proche 1 pour-cent.

-A section de l'éprouvette en mm².

-U résistance minimale à la traction spécifiée en MPa.

Pour notre cas : la nuance d'aciers est API 5L X70M-PSL2 donc la résistance à la traction est entre 565 à 758 MPa selon la fiche technique.

La composition chimique réelle pour notre type d'acier est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.7: La composition chimique du métal de base de pipe. [21]

AcierX70M - PSL2	COMPOSITIO N MAXIMUM %
Carbone (C*)	0,120
Silicium (Si)	0,450
Manganese (Jv/n^*)	1,700
Phosphore (P)	0,025
Soufre (.5)	0,015
Azote (N)	0,012
Vanadium (V)	0,10
Niobium (Nb)	0,06
Titane (Ti)	0,060
Cuivre (Cu)	0,250
Nickel (Ni)	0,30
Chrome (Cr)	0,30
Bore (B)	0,0005
Calcium (Ca)	0,006
Molybdene (Mo)	0.10
Tin (Sn)	0.010
$V+Nb+Ti$	0,150
$Cu+Cr+Ni+Mo$	0,500
Carbone Equivalent :	0.20

Après la récupération des déchets sur chantiers, une opération des traitements manuels est obligatoire pour obtenir des fibres avec des dimensions et formes régulières (2 à 4 mm de largeur et 3.5 à 5.5 de longueur avec une surface plate avec une forme courbée longitudinalement (est la forme convenable aux ces déchets).



Photo V.6: Résultats de chanfreineuses après l'opération de fraisage



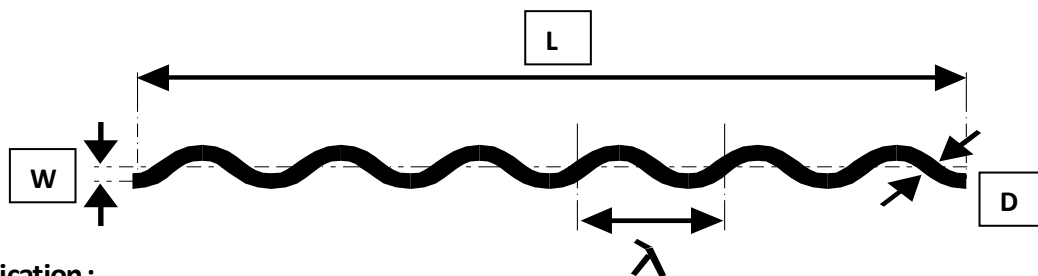
Photo V.7: Les fibres après traitement manuel.

V.2.4.2. Les fibres normalisées : sont des fibres fabriquées dans des ateliers essentiellement pour l'utilisation dans le BRFM. Dans cette étude nous utilisons le type suivant pour les essais de valorisation.

La fiche technique des fibres normalisées -Type ondulé-.

Désignation :

TABIX 1/50



Classification :

Groupe :

- Type d'ancrage :

Géométrie :

- Diamètre de la fibre d : 1 mm $\pm$ 0,04 mm
- Longueur nominale de la fibre L : 50 mm + 2 / - 3 mm
- Rapport L/d : 50 (Cat. 2)
- Amplitude w : 0,40 - 0,65 mm
- Longueur d'onde λ : 8 mm
- Nombre de fibres par kg : 3100 fibres
- Longueur du réseau : 1550 m / 10 kg

Caractéristiques physico-chimiques :

- Résistance à la traction typique du fil : 1100 N/mm²
- Résistance à la traction typique de la fibre : 950 N/mm²



Photo V.8: Fibres normalisées d'une forme ondulée.

V.3. FORMULATION DU BETON [1 à 5] :

Pour la formulation de notre béton, des séries d'essais physico-chimiques appelant les essais d'identification sont obligatoires sur les matériaux

V.3.1. Les essais d'identifications de matériaux :

V.3.1.1. La masse volumique :

-a) **La masse volumique apparente** : c'est la masse volumique de l'unité de volume apparents de corps c'est-à-dire du volume constitué du corps et les vides qu'elle contient.

Pour le sable 0/3 en remplir une mesure de 1000 cm³.



Photo V.9: Mesure de la masse volumique apparente.

Tableau V.8 : Récapitulatif des masses volumiques apparentes des agrégats et sable.

Sable	Poids P ₁ +T (g)	Poids P ₂ +T (g)	Poids P ₃ +T (g)	Poids P ₄ +T (g)
Poids P+T	1875.82	1875.86	1873.25	1872.23
Poids de la tare	314.17	314.17	314.7	314.17
Poids net	1561.65	1561.69	1559.08	1558.06
Poids moyen	1560.12 g			
La masse volumique apparente	1.56 g/cm ³			
Pour les agrégats 3/8, 8/15 et 15/25 une mesure de 5000 cm ³ .				
3/8	Poids P ₁ +T (g)	Poids P ₂ +T (g)	Poids P ₃ +T (g)	Poids P ₄ +T (g)
Poids P+T	10535.6	10590.1	10416.4	10507.5
Poids de la tare	3860	3860	3860	3860

Poids net	6675.6	6730.1	6556.4	6647.5
Poids moyen	6652.4 g			
La masse volumique apparente	1.33 g/cm ³			
8/15	Poids P ₁ +T (g)	Poids P ₂ +T (g)	Poids P ₃ +T (g)	Poids P ₄ +T (g)
Poids P+T	10492.1	10579.0	10532.2	10518.9
Poids de la tare	3844	3844	3844	3844
Poids net	6648.1	6735	6688.2	6674.9
Poids moyen	6686.55 g			
La masse volumique apparente	1.337 g/cm ³			
15/25	Poids P ₁ +T (g)	Poids P ₂ +T (g)	Poids P ₃ +T (g)	Poids P ₄ +T (g)
Poids P+T	3860	3860	3860	3860
Poids de la tare	10742	10696	10706	10696
Poids net	6882	6826	6846	6836
Poids moyen	6847.5 g			
La masse volumique apparente	1.37 g/cm ³			

-b) La masse volumique absolue : c'est la masse volumique de l'unité de volume absolu de corps c'est-à-dire du volume constitué du corps, sans tenir compte du volume des vides.

-Matériels nécessaire : Un récipient de verre de 300 cm³ (donc il pesait 300 g d'eau), Plaque de verre épais pour recouvrir les goulots, Balance de précision et un chiffon propre.

-Description de l'essai : On pèse le récipient en plein d'eau, recouvert de la plaque, soit P₁. En pèse l'échantillon du corps étudié P₂.

Introduire le corps étudié dans le récipient, puis le remplir à nouveau d'eau, remettre la plaque, puis en pèse P₃. La masse volumique est donné par l'expression :

$$MV_{abs} = P_2 / (P_1 + P_2 - P_3)$$

Tableau V.9 : Récapitulatif des masses volumiques absolues des agrégats et sable

Sable 0/3	P ₁ (g)	P ₂ (g)	P ₃ (g)	MV _{abs} (g/cm ³) (kg/L)
Poids	300	808.65	994.49	2.63 g/cm ³
Graviers 3/8	P ₁ (g)	P ₂ (g)	P ₃ (g)	MV _{abs} g/cm ³) (kg/L)
Poids	300	808.1	990.8	2.56 g/cm ³

Graviers 8/15	P ₁ (g)	P ₂ (g)	P ₃ (g)	MV _{abs} g/cm ³ (kg/L)
Poids	300	8079	989.6	2.536 g/cm ³
Graviers 15/25	P ₁ (g)	P ₂ (g)	P ₃ (g)	MV _{abs} g/cm ³ (kg/L)
Poids	400	1496.3	1741.2.	2.58 g/cm ³

V.3.1.2. L'équivalent du sable (NFP-18 598 octobre 1991) :

Le but de l'essai est de calculer l'équivalent de sable afin de déterminer le pourcentage d'impuretés contenues dans notre sable à température constante de 20° C (méthode a l'aide d'un piston (ES).

-Matériels utilise : 02 éprouvettes en plastique transparent, avec deux traits comme repère et chacune ayant une hauteur de 43,3 cm et 3,2 cm de diamètre avec une extrémité obstruée par un bouchon.

- Un entonnoir, une règle graduée, un piston tare, un flacon contenant environ 05 litres, le tout raccordé par un tube en plastique possédant un petit robinet et un appareil d'agitation électrique de mouvement horizontal faisant 90 allers et retour en 30 secondes.



Photo V.10: l'essai de l'équivalent du sable

Tableau V.10: Résultat de l'essai de l'équivalent du sable

Echantillon	ESSAI	
	Essai 01	Essai 02
H1 total	12	11.8
H2 de sable	8.7	8.6
ES= (H2/H1)*100	72.5	72.89
ES moyen (%)	72.69 %	

V.3.1.3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) :

Le but de l'essai est de déterminer le pourcentage d'argile et les éléments fins dans le sable

-Matériels utilise : Agitateur à ailettes, vitesse entre 400 et 800 tours / min, Burette de 50 ml graduée 0.1 ml, Papier filtre sans cendre, Baguette de verre, Bêcher de 1.2 ou 3 litres, Appareillage : balance, chronomètre, tamis de 2mm...



Photo V.11 : L'essai de bleu de méthylène

Pour notre cas les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau V.11: résultat de l'essai de bleu de méthylène

Poids de l'échantillon P	Volume de bleu injecté dans la prise d'essai V	Valeur au bleu de la prise d'essai : C	L'expression de résultat $V_B = (V/P) * C * 10$
100 g	8 cm ³	0.93	0.744

$0.2 < V_{BS} = 0.744 < 2.5$ donc notre sable est un sable limoneux (sable peut plastique et sensible à l'eau donc est acceptable pour le béton).

V.3.1.4. Coefficients d'absorption de l'eau (NFP 18-554 et NFP 18-555 décembre 1990) :

Le but de l'essai est de déterminer le coefficient d'absorption de l'eau des granulats utilisée, cette quantité peut conduire une perte de maniabilité, donc il faudra effectuer une correction sur le dosage d'eau.

Le coefficient d'absorption est démontré par l'expression : $A_B = ((M_a - M_s) / M_s) * 100$

A_B : coefficient d'absorption.

M_s : poids des échantillons séché dans l'étuve après lavage sur un tamis de 4 mm pour les graviers, et pour les sables est la masse de l'échantillon séché après lavage et refroidissement.



Photo V.12: Essai de détermination Coefficients d'absorption de l'eau

M_a : pour les agrégats est la masse séchée par éponge de l'échantillon après l'immersion dans l'eau pendant 24 H, pour le sable est la masse du sable après une série des opérations : étalage à l'air chaud, damage dans un moule (forme de cône 25 fois)

Tableau V.12: Résultat de coefficients d'absorption de l'eau

	$M_s(g)$	$M_a(g)$	$A_B(\%)$
Sable 0/3	352	353	0.49
Graviers 3/8	961.1	1000	4.047
Graviers 8/15	484.3	500	3.24
Graviers 15/25	490.6	500	1.916

V.3.1.5. Essai de propreté des agrégats (NF P 18-591) :

Le but de l'essai est de mesurer le pourcentage des fins inférieurs à 0.5mm ce pourcentage est démontré par l'expression $P (\%) = (M_H - M_S) / M_H$

M_H : poids de l'échantillon humide. M_S : poids de l'échantillon après séchage.

Tableau V.13: Résultat de propreté des agrégats

	$M_H(g)$	$M_S(g)$	$P(\%)$
Graviers 3/8	3000	2941.2	1.99
Graviers 8/15	5000	4937.1	1.27
Graviers 15/25	5000	4957.2	0.86

V.3.1.6. Essai de LOS ANGELES (NF P18-573 Décembre 1990) :

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il vise à caractériser les granulats utilisés pour la constitution. C'est pour cela qu'on procède à l'essai dit Los Angeles **LA**.

L'essai LA est un essai très courte durée, il nous permet d'évaluer la bonne qualité du matériau.

L'essai consistant à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm produite par la soumission des granulats aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine LOS ANGELES qui est en définitive un broyeur de laboratoire.

**Photo V.13 : Essai de LOS ANGELES**

L'essai est basé sur les classes granulaires les plus courants utilisés, à chaque classe correspond à une charge abrasive constituer de boulets en fonte.

L'ensemble du boulet est déterminé par la classe granulaire de l'échantillon comme indique dans le tableau suivant :

Tableau V.14 : Les différents classes des agrégats.

Classe granulaire	Nombre des boulets	Poids total de la charge (g)
4 - 6,3	7	2920 ± 20
6,3 - 10	9	3750 ± 25
10 - 14	11	4600 ± 25

La résistance combinée à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement réciproque s'exprime par la quantité $'LA = ((P_1 - P_2) / P_1) * 100$

LA : Le pourcentage de l'usure.

P 1 : Le poids des matériaux soumis à l'essai.

P : Le poids des éléments inférieurs à 1.6 mm produit au cours de l'essai.

Tableau V.15: Résultat d'essai de LA

Classe de granulat	N de boulets	Poids d'échantillons (g)	Poids d'élément >1.6 mm (g)	LA (%)
10/14	11	5000	3422.5	31.55

LA<35% donc nos agrégats sont acceptables pour le béton.

V.3.1.7. Essais chimiques :

Les analyses chimiques sur les sables et les agrégats pour les buts de :

- La détermination des insolubles NF P 461 Mais 1964.
- La détermination du taux de Sulfate BS-1377-3-1990.
- La détermination du taux de carbonates BS-1377-3-1990-6-3
- La détermination de la matière organique. BS-1377 Décembre 1995.
- La détermination du taux de chlorures (Méthode de Mohr) BS MJ BOWLY. 1979.



Photo V.15: Essais chimiques

Pour notre cas les résultats sont comme sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.16: Résultat d'essais chimiques

	Insolubles % NF P 15-461	Sulfates % BS 1377		Carbonate CaCO ₃ % NF P 15-461	Chlorures méthode de Mhor %		
		SO ₃	CaCO ₃ .2H ₂ O		CL ⁻	NaCl	
Sable	91.04	0.2	1.10	7	0.009	0.015	0.24
8/15	25.24	0.57	3.11	70	0.006	0.011	0.69

V.3.1.8. L'analyse granulométriques :

Le but de la composition de béton est de déterminer les proportions des divers constituants, donc on doit passer d'abord à l'essai de l'analyse granulométrique qui détermine la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions.

-Principe de l'essai.

Le but de l'essai est de fractionner à l'aide d'une série de tamis le matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes, Puis le dessin de la courbe granulométrique.

-Matériels utilisés : Une série des tamis de différents diamètres, un échantillon pour chaque fraction de gravier, une balance, pesant au gramme près, une étuve thermostatée.

-Description de l'essai : Prélèvement des échantillons pour les différentes fractions du gravier 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25. Une fois ces matériaux lavés, ils seront séchés dans étuve 48h minimum, après séchage, versement de l'échantillon dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en classe de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissant, le choix de diamètre des tamis selon la fraction de la classe de granulats et en ajoutant un fond plein et un couvercle

Le refus partiel de chaque tamis R_i .

Le refus cumulé du tamis immédiatement inférieur est $R_{(i+1)}$

Le pourcentage partiel de refus est $(R_i/M_s) \cdot 100$.

Le pourcentage de refus cumulé est $((\sum R_i + R_{(i+1)})/M_s) \cdot 100$

Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivants :

-Analyse granulométriques du sable

-Prise d'essai : 1000g

Tableau V.17 : Analyse granulométrique du sable

Ouverture Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)	observation
5	5.45	5.45	0.54	99.55	100
2.5	42.11	47.56	4.756	95.24	95
1.25	137.39	184.95	18.495	81.505	82
0.63	409.85	594.8	59.48	40.52	41
0.315	297.74	892.54	89.254	10.746	11
0.160	98.41	990.95	99.095	0.905	1
0.08	5.89	996.84	99.684	0.316	0

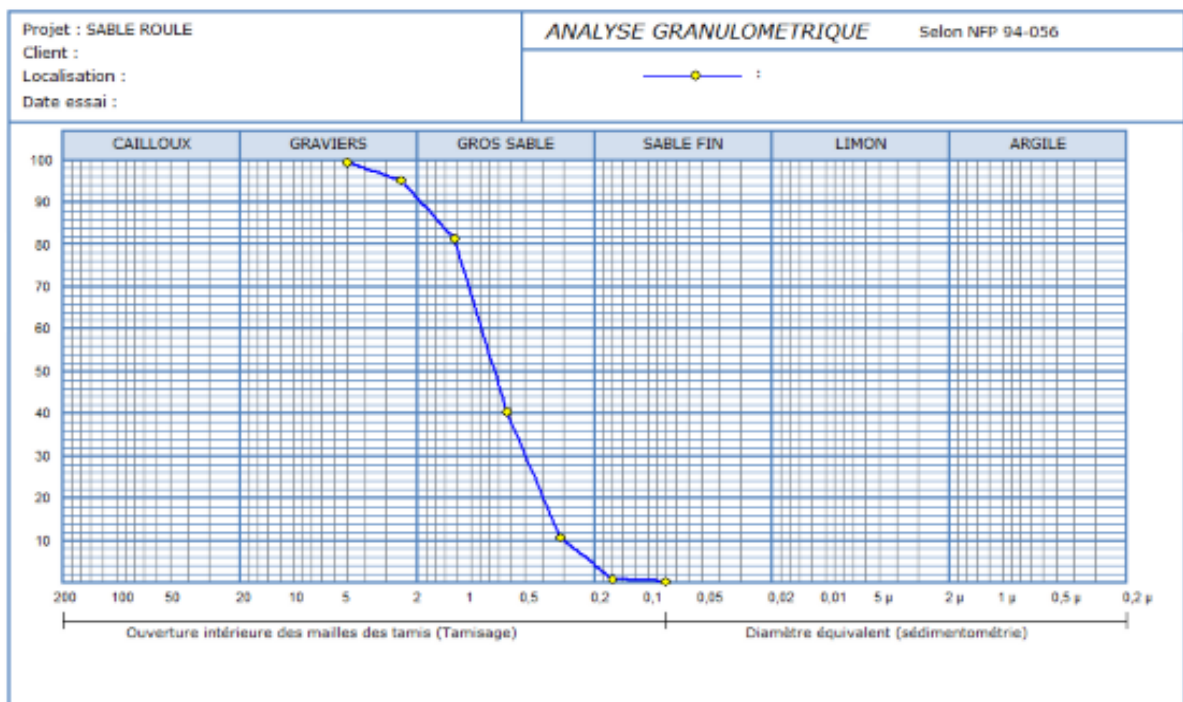


Figure V.9 : Courbe d'analyse granulométrique du Sable

-Analyse granulométriques des agrégats 3/8

-Prise d'essai : 5000g

Tableau V.18: Analyse granulométrique des agrégats 3/8

Ouverture Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)	observation
10	0	0	0	100	100
8	197.4	197.4	3.95	96	96
6.3	1279.2	1476.6	29.53	70	70
5	1234.7	2711.3	54.23	46	46
4	1018.1	3729.4	74.59	25	25
3.15	449.9	4179.3	83.59	16	16
2.5	493.2	4672.5	93.45	7	7
2	177.5	4850	97.00	3	3
1.6	60.5	4910.5	98.21	2	2
1.25	15.1	4925.6	98.51	1	1

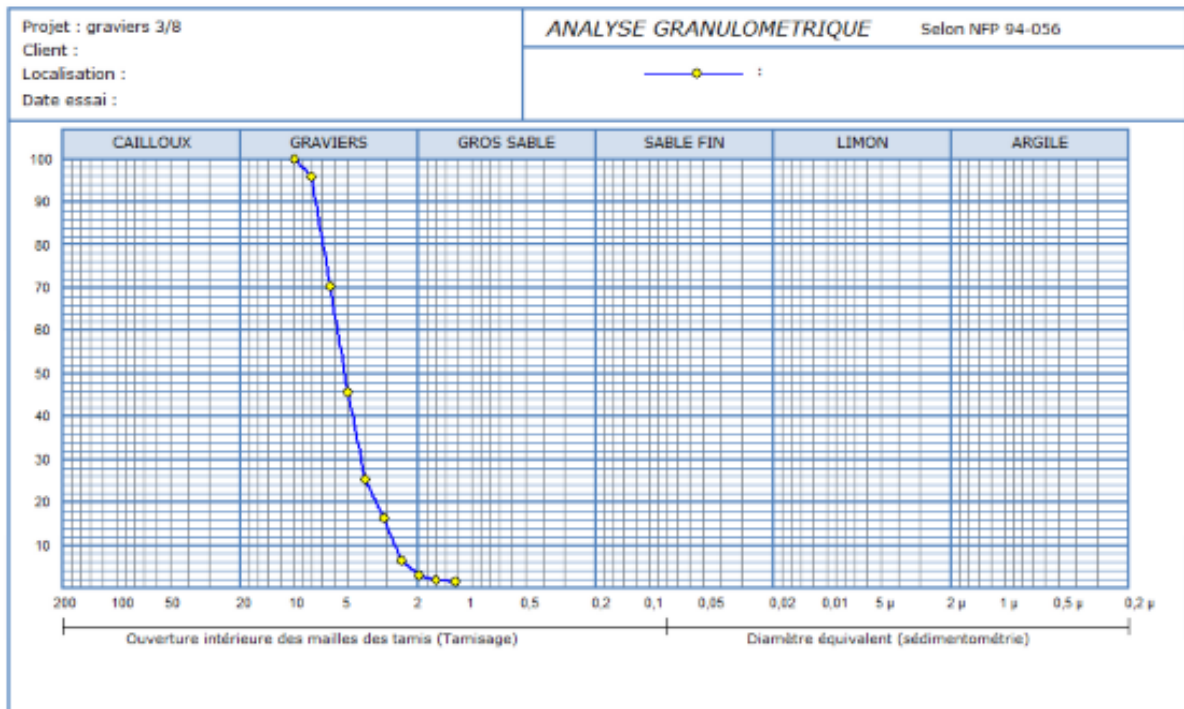


Figure V.10 : Courbe d'analyse granulométrique des agrégats 3/8

-Analyse granulométriques des agrégats 8/15

-Prise d'essai : 5000g.

Tableau V.19: Analyse granulométrique des agrégats 8/15

Ouverture	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)	observation
Tamis (mm)					
25	0	0	0	0	100
20	91.2	91.2	1.82	98	98
16	516.2	607.4	12.15	88	88
12.5	1559.2	2166.6	43.33	57	57
10	1701.8	3868.4	77.36	22.63	23
8	872.4	4740.8	94.82	5	5
6.3	184.8	4925.6	98.51	1	1
5	30.2	4955.8	99.12	1	1
4	3.9	4959.7	99.19	1	1
3.15					

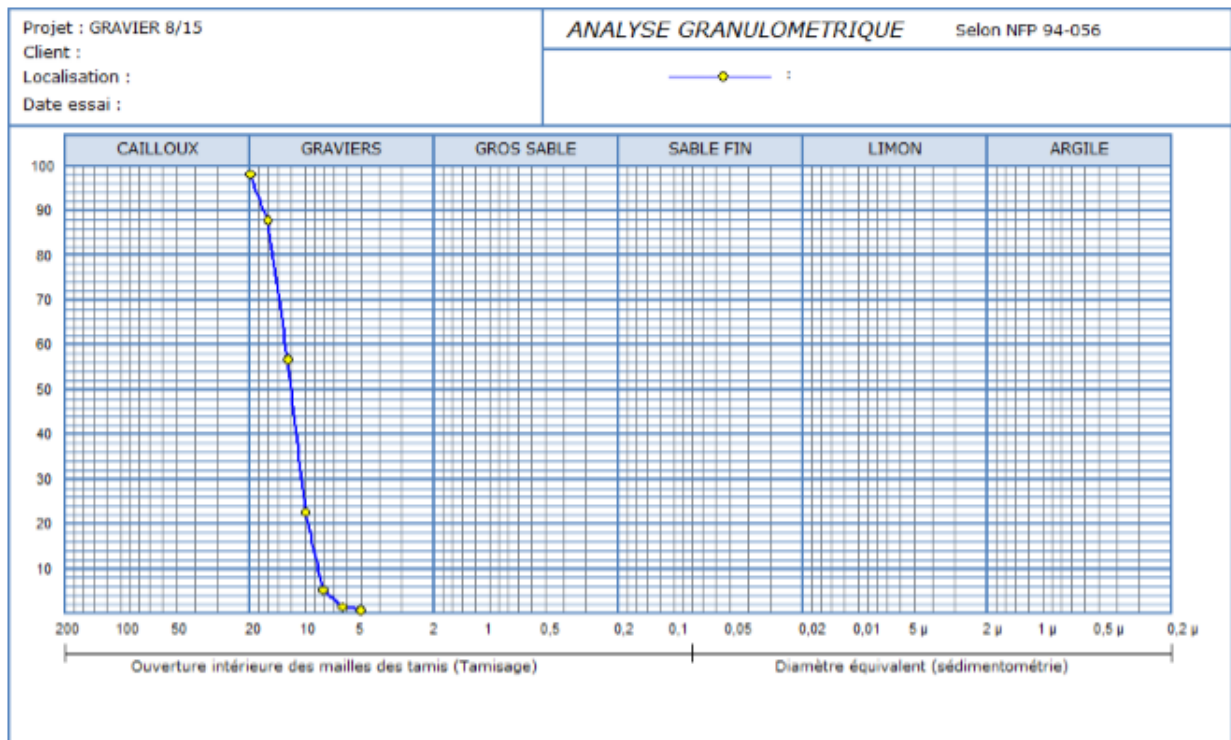


Figure V.11: Courbe d'analyse granulométrique des agrégats 8/15

-Analyse granulométriques des agrégats 15/25

-Prise d'essai : 5000g.

Tableau V.20 : Analyse granulométrique des agrégats 15/25

Ouverture	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)	observation
Tamis (mm)					
31.5					
25	0	0	0	0	100
20	723.2	723.2	14.46	85.53	86
16	3335	4058.2	81.16	18.83	19
12.5	900.4	4958.2	99.17	0.83	01
10	25.4	4984.0	99.68	0.32	0
8	3.20	4987.2	99.74	0.26	0
6.3					

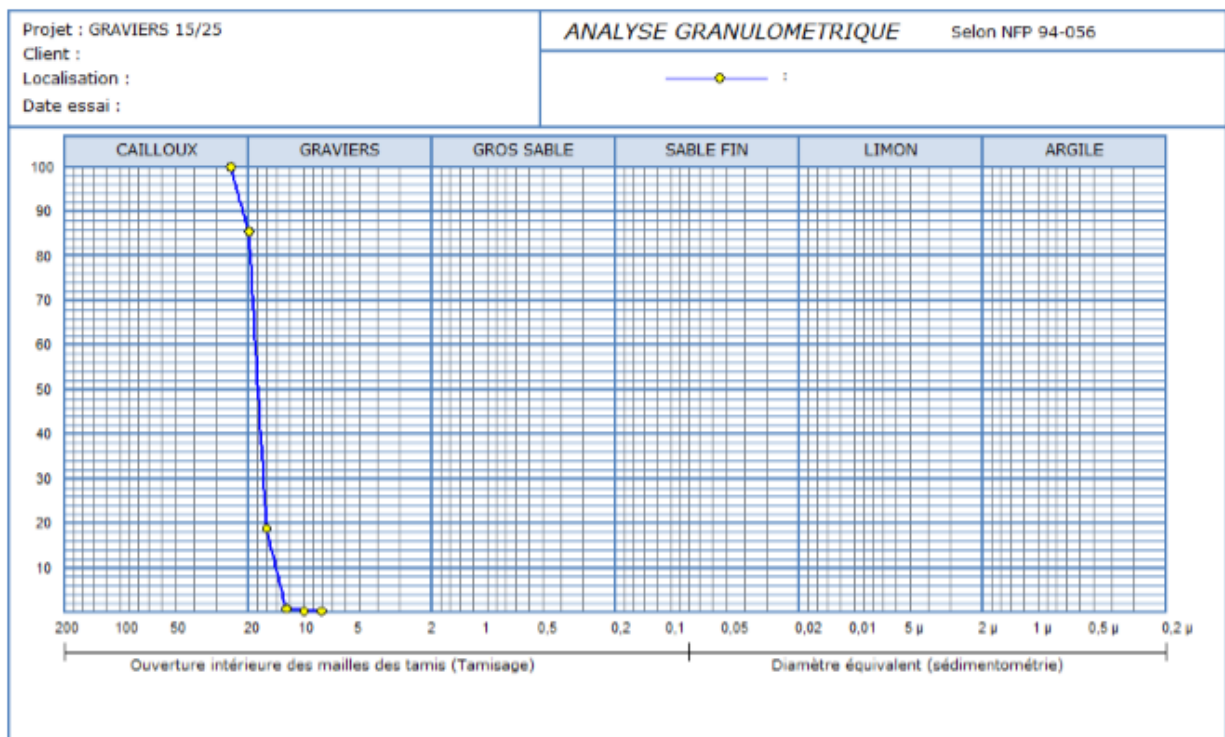


Figure V.12: Courbe d'analyse granulométrique du gravier 15/25

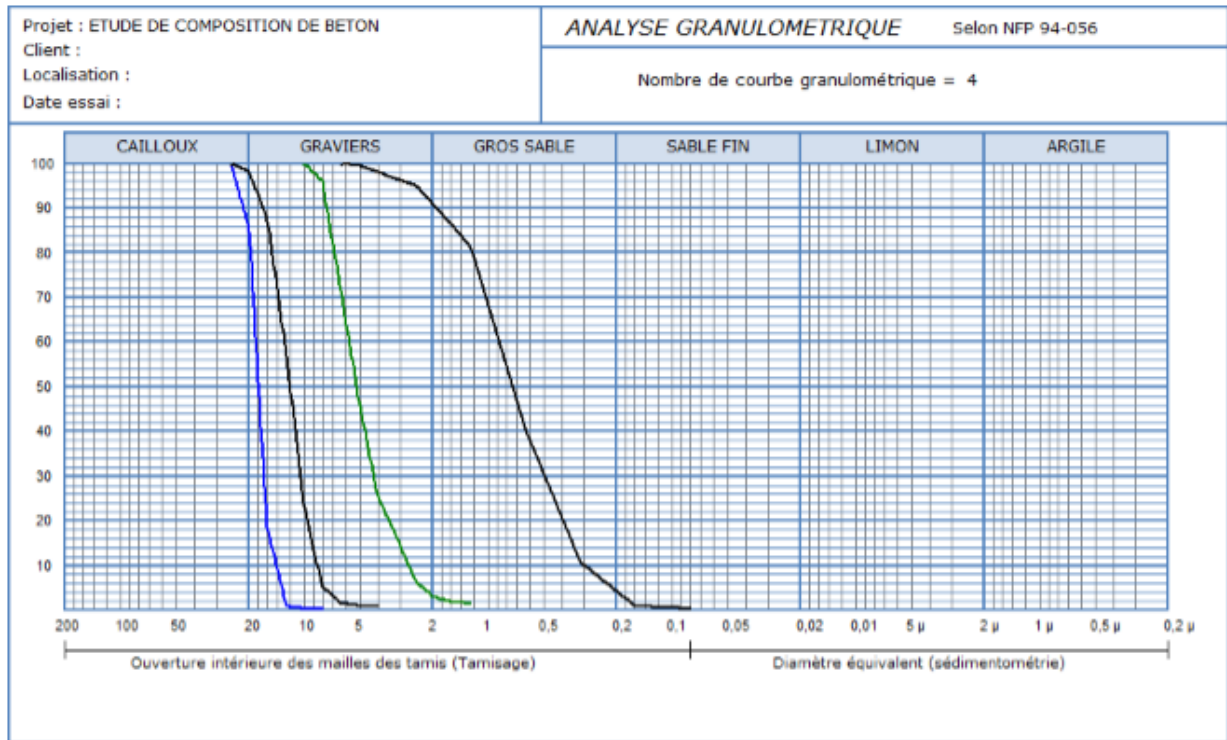


Figure V.13: Courbes récapitulative d'analyse granulométrique des agrégats

V.3.1.9. Essai d'aplatissement NF P 18-561 Septembre 1990.

Le but de l'essai est de détermine le coefficient d'aplatissement d'un échantillon de granulats d'origine naturelle ou artificielle dont les dimensions sont comprises entre 4 et 50 mm.

En peut faire l'essai parallèlement à l'analyse granulométrique

Pour notre cas :

Tableau V.21 : Coefficient d'aplatissement des agrégats 8/15

8/15			
Tamisage sur Tamis		Tamis sur Grilles	
Classe granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Me (g)
31.5		20	
25		16	
20	91.2	12.5	16.3
16	516.2	10	78.5
12.5	1559.2	8	214.8
10	1701.8	6.3	232.2
8	872.4	5	105.3

6.3	184.8	4	33.6
5	30.2	3.15	5.6
4	3.9	2.5	0.6
$M=\sum Mg$	4959.7	$M=\sum Me$	686.9
$A=(\sum Me/\sum Mg)*100=13.85$			

Tableau V.22: Coefficient d'aplatissement des agrégats 15/25

15/25			
Tamisage sur Tamis		Tamis sur Grilles	
Classe granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Me (g)
31.5		20	
25		16	
20	723.2	12.5	8
16	3335	10	119.8
12.5	900.4	8	36.2
10	25.4	6.3	0
8	3.2	5	0
6.3		4	
5		3.15	
4		2.5	
$M=\sum Mg$	4987.2	$M=\sum Me$	164
$A=(\sum Me/\sum Mg)*100=3.29$			

V.3.2. Composition du béton par la méthode DREUX GORISSE :

La plus connue des méthodes, et la plus utilisée est celle de DREUXGORISSE, car elle est la plus récente, et considère que la résistance d'un béton dépend du rapport C/E.

V.3.2.1. Données de base :

- Dimension des granulats : on adopte comme dimension des plus gros grains $D=25\text{mm}$.
- Résistance désirée : $fc_{28} = 25 \text{ MPa}$ avec majoration de 10 à 15%.
- Consistance désirée : pour notre cas un béton plastique donc affaissement $5 < A < 9 \text{ cm}$.

V.3.2.2. Dosage de mélange :

Le rapport de poids de ciment est défini en fonction de la résistance moyenne es-comptée (relation de Bolomey). $F_{c28} = G \times \sigma \times ((C/E)-0.5)$.

F_{c28} : résistance moyenne à 28 j.

G : coefficient granulaire.

σ : classe de résistance de ciment.

C : masse de ciment dans 1 m³.

E : masse de l'eau dans 1 m³.

-Valeur approximatives du coefficient granulaire G : ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans des bonnes conditions.

Tableau V.23: Valeurs approximatives du coefficient granulaire.

QUALITE DES GRANULATS	DIMENSION D DES GRANULATS		
	FINS (D < 16 mm)	MOYENS (25 < D < 40 mm)	GROS (D > 63 mm)
EXCELLENTE	0,55	0,60	0,65
BONNE, COURANTE	0,45	0,50	0,55
PASSABLE	0,35	0,40	0,45

Les granulats utilisés pour notre cas ont granulats courants de bonne qualité avec des dimensions moyennes ce qui nous autorise que le coefficient G = 0.5.

-Dosage de ciment et d'eau : notre type est de classe CEM CPJ I 42.5

Donc le rapport C/E est donné par l'expression : $\frac{C}{E} = \frac{27.5}{0.5 \times 42.5} + 0.5 = 1.79$.

L'aide des abaques C/E en fonction d'affaissements A, le dosage de ciment C et d'eau E correspondant est : C = 350 kg/m³. E = 195.53 kg/m. donc E/C=0.56 avec un affaissement A= 6cm.

NB : le rapport E/C n'est pas fixe et doit être confirmé après une série d'essais de maniabilité.

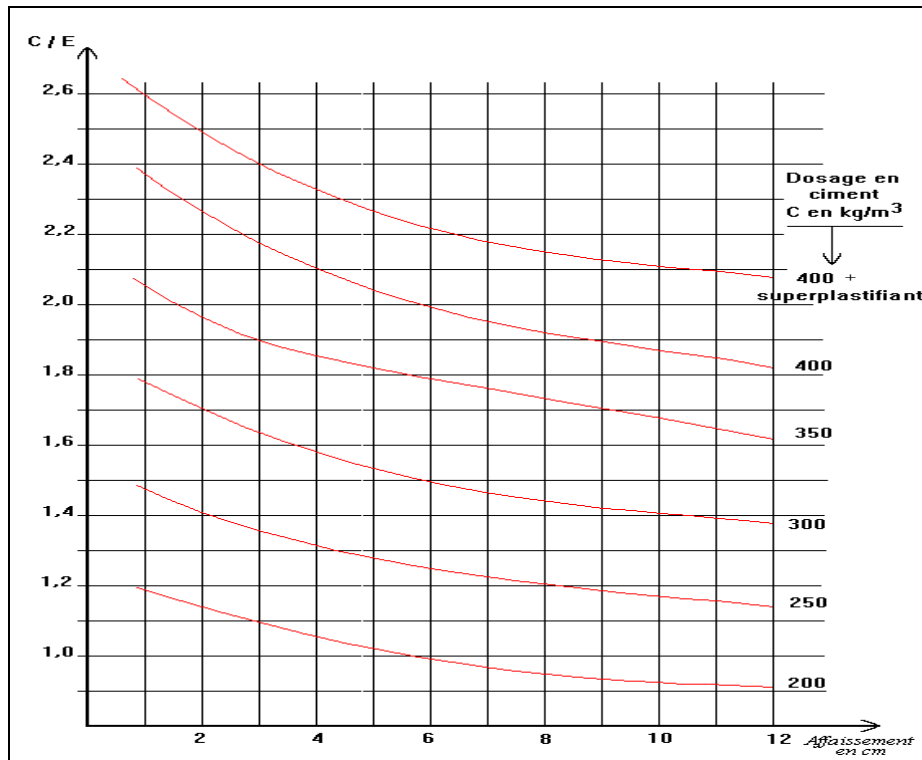


Figure V.14: Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement A au cône d'Abrams).

-La courbe granulaire de référence :

Une fois, les courbes granulométriques des différents matériaux ont été tracées, nous pouvons représenter, graphiquement, l'allure de la courbe du mélange granulaire appelée courbe de référence, cette courbe est désignée par 03 points ayant pour coordonnées :

- point O (0,0)
- point B (D,100)
- point A (appelé aussi point de brisure) :

En abscisse : $D/2$ si $D \leq 20$ mm -Au milieu du segment limité par 5 mm et abscisse de D Si $D > 20$ mm.

En ordonnée : $y = 50 - (D)^{1/2} + K$.

K: terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et du module de finesse du sable. (TABLEAU).

Tableau V.24 : Valeur de terme correcteur

VIBRATION	FAIBLE		NORMALE		PUISSANTE	
Forme des granulats (des sables en particulier)	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé

	400+Superpl.	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
Dosage	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
en	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
ciment	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Pour notre cas sable est roulé et naturel la vibration est normale donc le coefficient correspondant au dosage 350 kg/m³ est K = 0.

Donc : Point O = $\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$ Point B = $\begin{Bmatrix} 25 \\ 100 \end{Bmatrix}$ Point C = $\begin{Bmatrix} 12.5 \\ 45 \end{Bmatrix}$

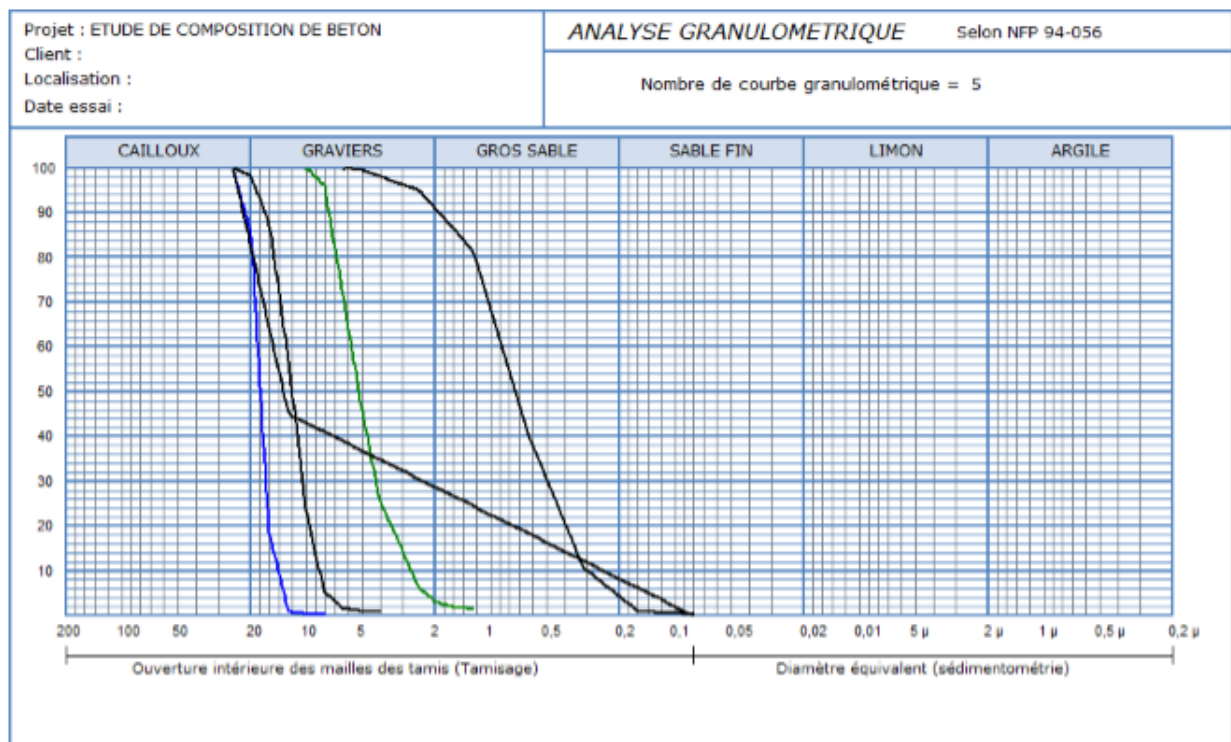


Figure V.15: La courbe de référence (OAB)

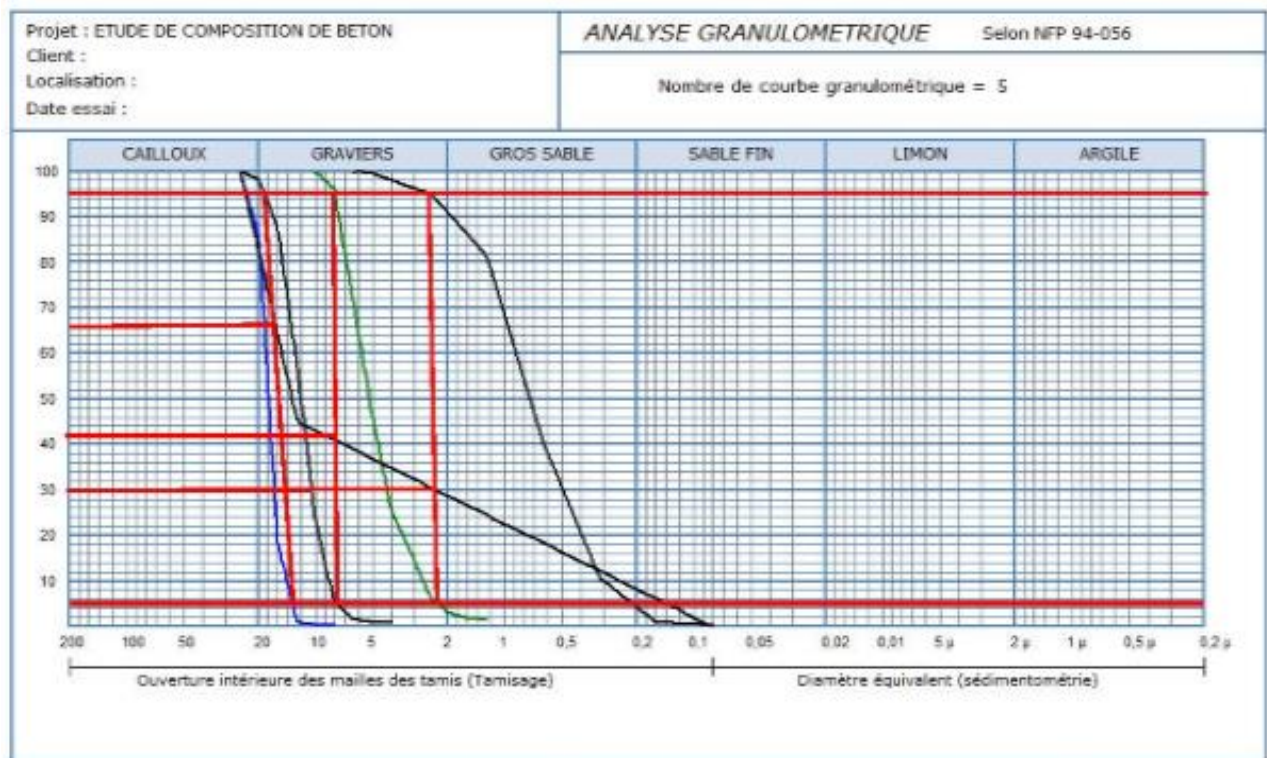


Figure V.16: Pourcentage des agrégats

On trace les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5% de la courbe du grunulat qui vient juste après et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la droite de partage, les pourcentages en volume absolu de chacun des granulats :

Les résultats sont comme suite :

- Sable : 30%.
- Gravier 3/8 : 12%.
- Gravier 8/15 : 24%.
- Gravier 15/25 : 34%.

-Coefficient de compacité.

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des métiers solides :

$$V_M = V_S + V_G + V_C = \gamma \times 1000.$$

Tableau V.25: Coefficient de compacité.

CONSISTANCE	SERRAGE	COEFFICIENT DE COMPACITE γ						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 40	D = 80

Très plastique	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 nor-	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	male.	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration puis-							
	sante							
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 puis-	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
	sante							

NOTA : Ces valeurs sont convenables pour des *granulats roulés* sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes : * Sable roulé et gravillon concassé : - 0,01

* Sable et gravillon concassé : - 0,03

Suivant le tableau : $\gamma = 0.825$.

Volume absolu du ciment :

$$V_c = m_c / \gamma_c = 350 \text{ (kg/m}^3\text{)} / 3.1 \text{ (kg/L)} = 112.90 \text{ L/m}^3.$$

Volume absolu de l'ensemble des granulats :

$$V_s + V_G = V_M - V_c = (0.825 \times 1000) - 112.90 = 712.1 \text{ L/m}^3.$$

Donc le volume absolu des granulats est :

$$V_s = 712.1 \times 0.3 = 213.63 \text{ L/m}^3.$$

$$V_{3/8} = 712.1 \times 0.12 = 85.452 \text{ L/m}^3.$$

$$V_{8/15} = 712.1 \times 0.24 = 170.904 \text{ L/m}^3.$$

$$V_{15/25} = 712.1 \times 0.34 = 242.114 \text{ L/m}^3.$$

Donc les dosages en poids sont les suivants :

$$V_s = 712.1 \times 0.3 \times 2.63 = 516.84 \text{ kg/m}^3.$$

$$V_{3/8} = 712.1 \times 0.12 \times 2.56 = 218.75 \text{ kg/m}^3.$$

$$V_{8/15} = 712.1 \times 0.24 \times 2.536 = 433.41 \text{ kg/m}^3.$$

$$V_{15/25} = 712.1 \times 0.34 \times 2.58 = 624.65 \text{ kg/m}^3.$$

-Dosage réel d'eau : théoriquement le dosage donné est $E = 195.53$ ($C = 350 \text{ kg/m}^3$. Donc $E/C=0.56$ avec un affaissement $A= 6\text{cm}$). Pour corriger ce rapport une série des essais effectués sur le maniabilimètre avec différents facteurs de rapport E/C . ($E/C=0.55$, $E/C=0.57$, $E/C=0.6$)

Matériel :

- Le maniabilimètre : appareil type A : pour $D > 12,5 \text{ mm}$
- Le moule : Il repose sur le sol par 4 amortisseurs caoutchoucs.
- La cloison amovible : Elle sépare le moule en deux parties. Elle coulisse verticalement dans des glissières fixées sur la face externe du moule.
- Le vibreur : Electrique, à moteur asynchrone, fixé sur la face extérieure du moule.
- La tige de piquage : Métallique, de 6 mm de diamètre, pesant 200 g, terminée par une calotte hémisphérique. Elle est utilisée lors du remplissage du moule.

Mode opératoire : Prélever dans la gâchée 30 litres de béton. Remplir le grand compartiment du moule à la truelle en veillant au bon remplissage de l'angle formé par le fond du moule et la plaque amovible. Araser la surface libre à la règle.

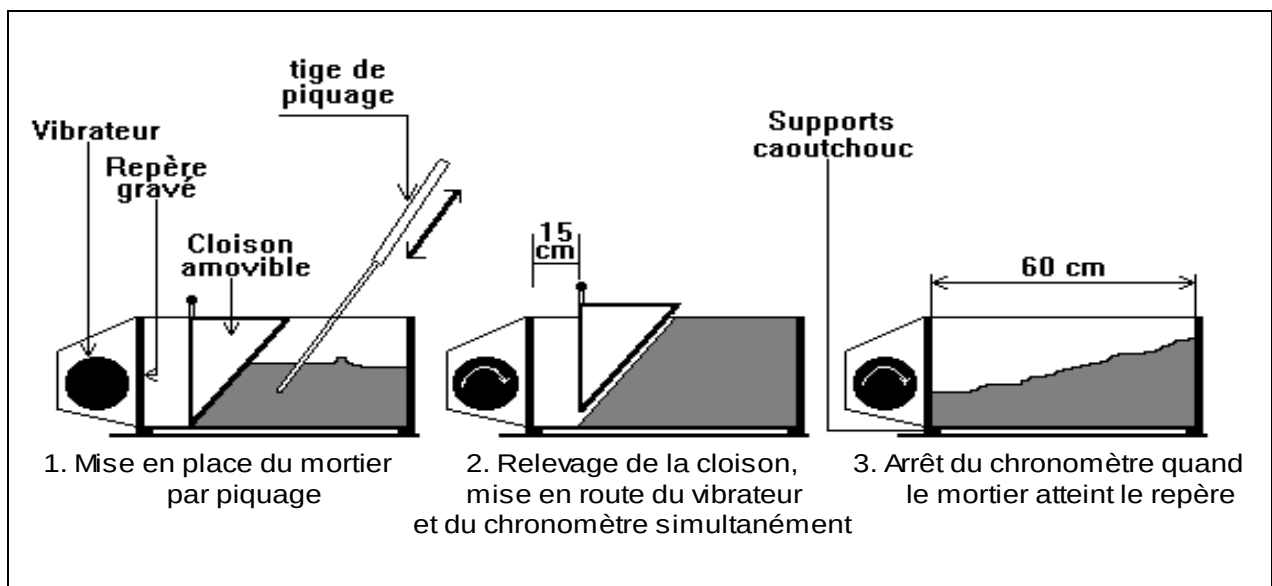


Photo V.15: Teste de maniabilimètre



Photo V.16: Maniabilimètre

Tableau V.26: Résultats de maniabilimètre selon le dosage d'eau

E/C	T (s)
0.55	31.5
0.57	19.93 ≈ 20
0.6	8.5

Plus le béton est plastique, maniable et de bonne ouvrabilité et plus le temps t est court :

Tableau V.27: Classement de maniabilité de béton

Classification	Temps en s.
Béton sec	40
Béton de bonne ouvrabilité	20 t 30
Béton très plastique	10 < t < 20
Béton très fluide	10

Selon les résultats le rapport de E/C adéquats est de E/C = 0.57 donc le dosage d'eau pour un dosage de ciment de 350 kg/m^3 est $E = 199.5 \text{ kg/m}^3$ ou 199.5 L/m^3 .

L'essai VéBé [17] : Cet essai est défini par la norme [ISO 4110] ; il nous permet de mesurer la consistance et de tester l'ouvrabilité de béton par la mesurer du temps nécessaire en se-

condes que met un cône de béton pour s'écouler à l'intérieur d'un moule posé sur une table vibrante.

-Conduite de l'essai : L'essai Vébé consiste à placer dans un récipient cylindrique en métal non attaquable par la pâte de ciment, d'un diamètre interne de 240 mm et de hauteur de 200 mm, solidement fixé sur la table vibrante, un moule ayant la forme d'un tronc de cône aux dimensions intérieures ($D_{inf} = 200 \text{ mm}$; $D_{sup} = 100 \text{ mm}$; $h = 300 \text{ mm}$).

Le moule est rempli de béton en trois couches, après compactage, au tiers de la hauteur du moule. On pique chaque couche 25 fois avec la tige de piquage, en répartissant les coups uniformément sur la section de chaque couche. Une fois le béton démoulé, l'essai se poursuit par la mise en vibration de la table jusqu'à ce que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie. À ce moment on arrête la vibration, le temps compté sera celui de l'écoulement du béton.

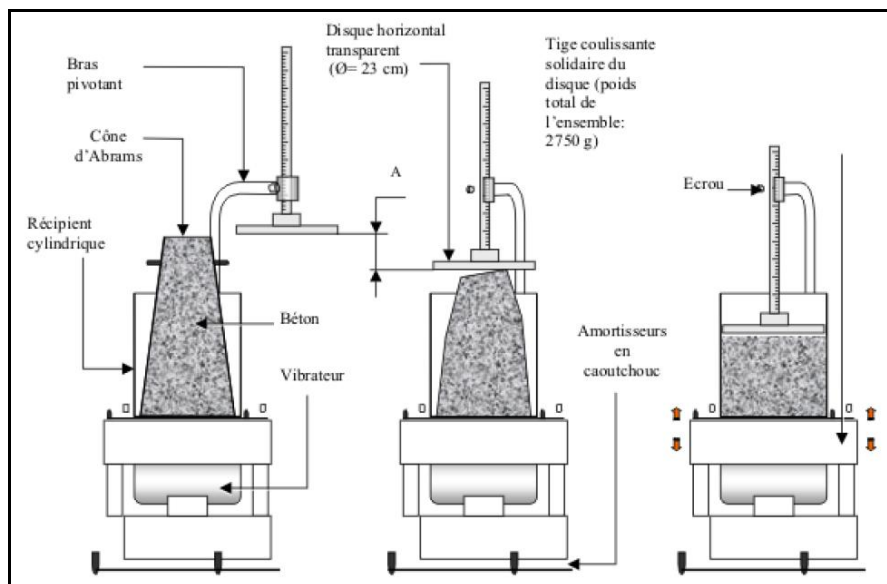


Photo V.17: Essai de VEBE.

5 classes de consistance Vébé sont définies par la norme ENV 206 en fonction du temps t :

Le temps t exprimé en secondes définit la consistance Vébé.

Tableau V.28: Classes de consistance Vébé.

Classe Vébé	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4
Temps à l'essai Vébé (s)	≥ 31	30-21	21-11	10-5	≤ 4

Pour notre cas le temps de l'essai v     est **12.31 s** correspond à la classe V₂, donc notre b     est plastique selon la norme ENV-206

V.4. LES ESSAIS ET MODES OPERATOIRES :

Le but de ce travail est d'étudier le comportement de b     à la présence des fibres d'origine des déchets de fraisage et de chercher un dosage des fibres adéquates à la composition de b     d'un part, et de le comparer et valoriser ce dosage avec les fibres normalisées d'autre part.    cet effet une série des essais ont été programmé. Des essais destructifs et essai de la maniabilité sur le BRFM.

-le pourcentage des fibres varié en pourcentage de poids total des éléments de la matrice (S+G+C+E).

Donc les différentes compositions sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.29 : Formulation de BFM

Poids d'éléments (kg/m ³)		Poids de pourcentages des fibres en kg / m ³			
		0.8 %	1.2 %	1.6 %	2 %
S	519.84	18.769	28.154	37.5384	46.923
3/8	218.75				
8/15	433.41				
15/25	624.65				
Ciment	350				
Eau	199.5	2364.92	2374.304	2383.688	2393.074
Total	2346.15				

V.4.1. Programme des essais

-Essai sur la maniabilité du BRFM avec un pourcentage des fibres de 2% (le plus grand de pourcentage).

-Essai mécanique (destructif ou écrasement)

-    la compression à 28j sur des éprouvettes cubiques de 15x15x15cm. Trois éprouvettes pour chaque teste.

-    la traction par flexion à 28j sur des éprouvettes prismatiques de 10x10x40cm. Trois éprouvettes pour chaque teste.

-    la traction par fendage à 28j sur des éprouvettes cubiques de 15x15x15cm. Trois éprouvettes pour chaque teste.

V.4.2. Confection des éprouvettes

La préparation et confection des éprouvettes selon la norme NF P18-404 et sons utilisation des adjuvants :



Photo V.18 : Outillage de préparation et confection des éprouvettes (Malaxeur verticale, Moules cubiques, prismatiques et vibreur)

La conservation des éprouvettes après 24 H de coulage (après l'identification des éprouvettes suivant la date de coulage ou écrasement, ainsi la composition) dans des bacs à eau équipée par un indicateur et contrôleur de la température.

V.4.3. Modes opératoires des essais

V.4.3.1. Maniabilité (ouvrabilité) et consistance :

Des essais sur la maniabilité et la consistance du BFM avec un pourcentage max des fibres égale à 2%. Pour le but d'étudier l'influence des fibres sur le béton à l'état frais.

La procédure des teste est comme indiqué dans l'article V.3.2.2 : formulation de béton –dosage d'eau.

V.4.3.2. Compression.

Le but de l'essai est de déterminer la résistance du béton à la compression après un chargement sur des éprouvettes cubiques de 15x15x15 cm, la charge est croissante en fonction du temps jusqu'aux les ruptures.



Photo V.19: Appareils de chargement

L'appareil utilisé model SERVO PLUS automatique : une presse hydraulique numérique, programmé pour tout type d'essai, compression, traction par flexion, traction par fendage. Les valeurs de la force de rechargement et les contraintes résultantes sont lues directement, enregistrées et imprimées.

Les éprouvettes confectionnées sont des éprouvettes cubiques, donc sont ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau inférieur étant fixe, l'autre est mobile. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante (5KN/s). Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical est enregistrée, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse, qui signifie l'achèvement de l'essai de compression. À ce moment la force et la contrainte ont subi par l'éprouvette sont affiché sur l'écran de la presse.

V.4.3.3. Traction par flexion sur quatre points :

Le but de l'essai est de déterminer la résistance à traction par la méthode de flexion sur 4 points, les éprouvettes utilisent sont des éprouvettes prismatiques de 10x10x40cm de dimensions. Pour cela un dispositif spécial emboîte les éprouvettes prismatiques pour assurer que le chargé appliqué par la presse est devenu des charges concentrées.



Photo V.20: Dispositif pour la flexion sur 4 points

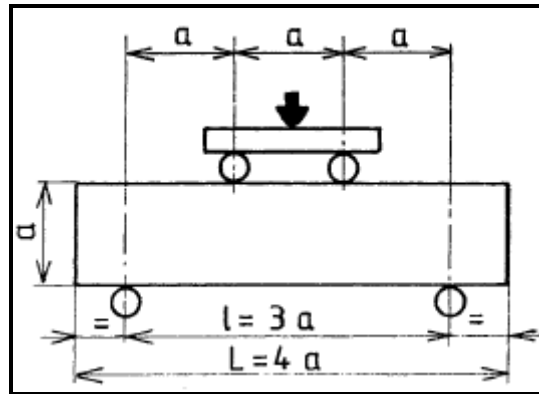


Figure V.17: La position correcte des éprouvettes prismatique dans le dispositif de la flexion sur 4 points.

Lorsque l'éprouvette est bien positionnée, l'ensemble de dispositif est l'éprouvette doit être placée dans la presse de chargement. Selon la norme **NF P 18-407** la vitesse de rechargement est 0.17 KN/S.

La presse de rechargement est la même que la compression.

La contrainte subie par l'éprouvette doit être calculée selon l'expression :

$$F_f = (30 \times F)/a^2.$$

F_f : la contrainte en MPa

F : est la charge maximale (en KN).

a : l'arrête de base de l'éprouvette (en cm)

V.4.3.4. Traction par fendage :

Le fendage est l'application de deux charges opposées réparties linéairement exerçant au milieu de la surface de l'éprouvette.

Le but de l'essai est de déterminer la résistance du béton à la traction par la méthode de fendage.

Pour les essais de fendage on utilise des bandes ou des baguettes en bois normalisées fabriquées essentiellement pour les essais de fendage de 20x1.5x0.15cm de dimensions, le rôle de ces baguettes est la localisation et la concentration de la charge exercée pour qu'il devienne une charge linéaire au milieu de la surface de l'éprouvette.

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cubiques de 15x15x15cm



Photo V.21: La position correct des éprouvettes pour l'opération de traction par fendage

Selon la **norme EN 12390-6 :2000**, Les baguettes sont posées et centrées soigneusement sur le milieu de la face supérieure et inférieure de l'éprouvette cubique, ensuite l'ensemble sera posé dans l'appareil de rechargement. La vitesse de rechargement reste constante dans la plage de 0.04 MPa/s à 0.06 MPa/s.

La résistance à la traction par fendage est calculée suivant l'expression :

$$F_{ct} = (2 \times F) / (\pi \times L \times d)$$

F_{ct} : la résistance à la traction en MPa.

F : la force enregistrée en N.

L : la longueur de contact de l'éprouvette en mm.

D : le diamètre nominal de l'éprouvette en mm.

CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTRPRETATION :

VI.1. RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES ESSAIS MECANQUES A LA COMPRES- SION :

Après une série des essais d'écrasement par compression sur 3 éprouvettes pour chaque pourcentage des fibres, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI.30 : Résultats d'essais de compression

Type de Béton		Compression			Moyenne
		1 ^{er} Eprouvette	2 ^{eme} Eprouvette	3 ^{eme} Eprouvette	
Béton Témoin	Poids kg	7.868	7.747	7.893	7.836
	Force KN	960	1010.56	1004.92	991.826
	Contrainte MPa	42.66	44.914	44.93	44.168
BRFM 0.8%	Poids kg	7.80	7.944	7.991	7.912
	Force KN	1004.25	866.993	776.01	882.417
	Contrainte MPa	44.633	38.533	34.489	39.218
BRFM 1.2%	Poids kg	7.926	7.955	7.929	7.936
	Force KN	1004.31	975.774	914.168	964.75
	Contrainte MPa	44.636	43.368	40.63	42.878
BRFM 1.6%	Poids kg	8.014	7.999	7.987	8.000
	Force KN	1011.122	1024.44	1041.64	1025.734
	Contrainte MPa	44.939	45.531	46.295	45.588
BRFM 2%	Poids kg	8.026	8.041	8.059	8.042
	Force KN	976.729	854.45	905.566	912.247
	Contrainte MPa	43.41	37.976	40.247	40.544

Les résultats obtenus sont convertis sous forme d'une courbe de variation de la contrainte à la compression en fonction du pourcentage des fibres : les contraintes dans l'ordonnée et les pourcentages dans l'abscisse.

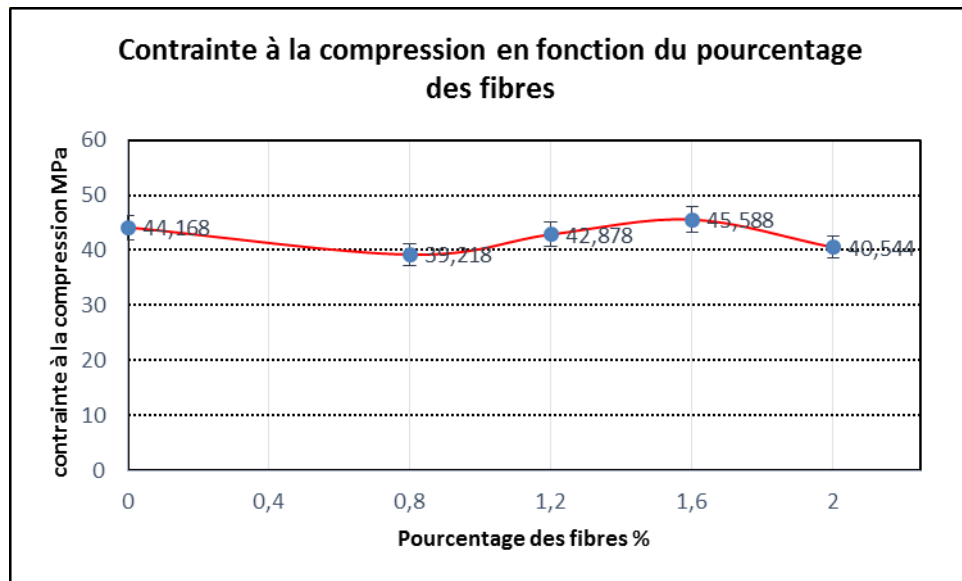


Figure VI.18: Courbe de contrainte du béton à la compression en fonction du pourcentage de fibres.

En premier lieu nous constatons la présence du trois palier de contrainte :

-Le premier palier : correspond un pourcentage de fibres entre 0 et 0.8 % où on peut considérer que la contrainte est constante est de l'ordre 40 MPa environ.

-Le deuxième palier : correspond un pourcentage de fibres entre 0.8 et 1.6 % où on constate l'augmentation de la contrainte du 40 jusqu'au 45.6 Mpa en fonction du croissement de pourcentage de fibres.

-Le troisième palier : correspond un pourcentage de fibres entre 1.6 et 2% où on constate le décroissement de la courbe contrainte en fonction du croissement pourcentage de fibres.

Lors l'essai de l'écrasement nous constatons que toutes les éprouvettes de BFM supportent d'autres sérier de rechargement –jusqu'aux quatre (04)- malgré de la présence des fissures avec une diminution de contrainte de 45.6 à 15 Mpa environ, par contre que le béton normal ne supporte que deux sérier de rechargement avant la rupture totale de l'éprouvette.

Ce phénomène est exprimé par l'influence des fibres contre le mécanisme de regroupement et concentration des microfissures, donc une résistance contre l'ouvrabilité des fissures, donc ce type de fibres :

- ils cousent les microfissures.
- ils influent sur le sens de la ligne de rupture.

À la lumière de ces résultats nous concluons que la présence des fibres métalliques dans la matrice du béton a une influence sur le comportement mécanique (à la compression) du béton, une augmentation et un croisement de contrainte envisagée de l'ordre de 15%

environ pour un pourcentage optimal de 1.6 %, là où enregistre une contrainte de 45.6MPa.

Le décroissement de la contrainte du béton dans le troisième palier est exprimé par l'influence de concentration de dosage des fibres ce dernier influe directement sur l'adhérence entre les agrégats.



Photo VI.22: L'état de l'éprouvettes après une série de quatre rechargements successifs



Photo VI.23: La distribution des fibres dans le béton

Les photos au-dessus montrent la disposition des fibres dans le béton et l'influence de la présence des fibres sur :

- Le comportement de béton à la compression.
- La répartition et la disposition des fissures.
- L'adhérence entre les morceaux du béton.

Donc nous concluons que la présence des fibres joue un rôle remarquable dans la matrice du béton selon le pourcentage des fibres. Pour cela le pourcentage optimal retenue (1.6%) sera considéré comme un pourcentage de référence, dont il est nécessaire de le confirmé par le reste des essais à la traction.

VI.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES ESSAIS MECANQUES A LA TRACTION

PAR FLEXION :

Après des séries des essais d'écrasement par traction (flexion sur 4 points) sur 3 éprouvettes pour chaque pourcentage des fibres, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.31: Résultats d'essai de traction par flexion

Type de Béton		Traction par flexion			Moyenne
		1 ^{er} Eprouvette	2 ^{eme} Eprouvette	3 ^{eme} Eprouvette	
Béton Témoin	Poids kg	9.372	9.306	9.398	9.358
	Force KN	10.695	9.198	8.877	9.59
	Contrainte MPa	3.208	2.76	2.663	2.877
BRFM 0.8%	Poids kg	9.907	9.897	9.755	9.853
	Force KN	11.925	9.144	10.214	10.427
	Contrainte MPa	3.577	2.743	3.064	3.128
BRFM 1.2%	Poids kg	9.565	9.715	9.746	9.675
	Force KN	10.267	11.07	12.513	11.283
	Contrainte MPa	3.08	3.321	3.754	3.385
BRFM 1.6%	Poids kg	9.784	9.771	9.872	9.809
	Force KN	10.535	10.481	15.775	12.263
	Contrainte MPa	3.161	3.144	4.733	3.679
BRFM 2%	Poids kg	9.721	9.852	9.86	9.811
	Force KN	10.267	11.872	12.567	11.568
	Contrainte MPa	3.08	3.562	3.77	3.47

Les résultats obtenus sont convertis sous forme d'une courbe de variation de la contrainte à la compression en fonction du pourcentage des fibres : les contraintes dans l'ordonnée et les pourcentages dans l'abscisse

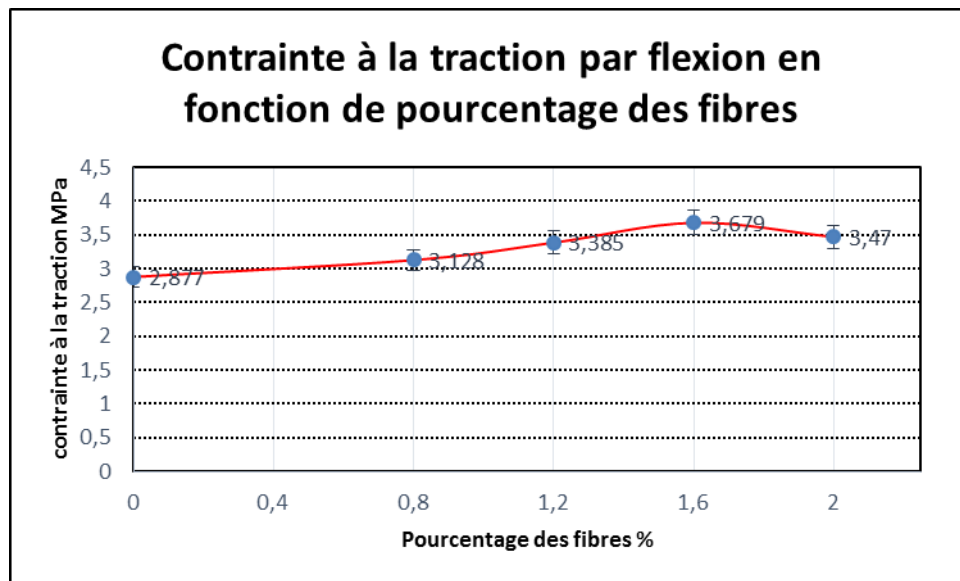


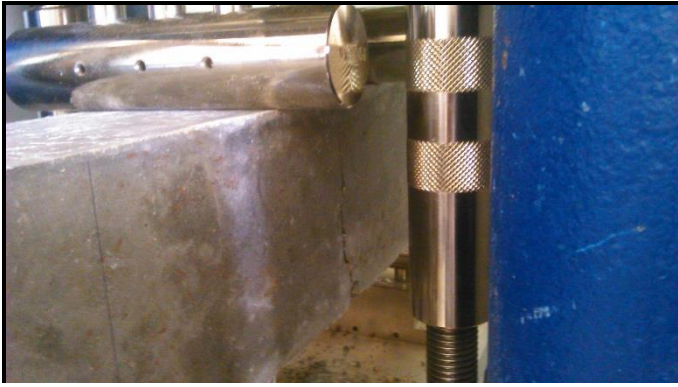
Figure VI.19: Courbe de contrainte du béton à la traction en fonction de pourcentage de fibres.

Dans le graphe de variation de contrainte de béton à la traction en fonction du pourcentage des fibres le constat est le suivant :

-Une croissance linéaire de la contrainte à la traction en fonction d'augmentation de pourcentage des fibres jusqu'à l'un point optimale (1.6%) correspondant à une contrainte maximale de 3.7 Mpa environ. Cette augmentation appréciable de la contrainte de béton à la traction due à la participation des fibres avec un dosage précis dans le comportement mécanique du béton.

Ce changement de comportement est exprimé par l'amélioration des caractéristiques du béton à la traction due à la présence des fibres, donc les fibres présentent des réactions supplémentaires aux réactions du béton

Une diminution de la contrainte à la traction au-delà du point optimal. Cette rupture de la contrainte due au dosage des fibres (au-delà de 1.6%). Ce qui exprime que le grand pourcentage des charges exercées est supporté uniquement par les fibres, donc l'augmentation du dosage influe sur la participation de béton contre l'effort appliqué.



1^{er} rechargement



2^{eme} rechargement



3^{eme} rechargement



4^{eme} rechargement



Photo VI.24: L'état de l'éprouvettes BRFM après 4 rechargements successifs.

Les photos ci-dessus représentent les comportements des fibres dans le béton contre l'ouvrabilité des fissures et contre l'alignement et la direction de la ligne de rupture (Les surfaces de rupture sont inclinées et n'est pas plane), par contre le béton témoin ne supporte que de série de rechargement avant la rupture totale de l'éprouvettes avec une surface de rupture presque verticale et plane

Nous concluons que la présence des fibres dans le béton pour un pourcentage précis engendre des réactions supplémentaires améliorent les réactions du béton à la traction

La courbe de variation de contrainte à la traction confirme la valeur optimale de

pourcentage des fibres (1.6% pour une contrainte max de 3.7 MPa), taux d'augmentation de contrainte à l'ordre de **28%**.

VI.3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES ESSAIS MECANQUES A LA TRACTION PAR FENDAGE :

Après des séries des essais d'écrasement par traction (fendage) sur 3 éprouvettes pour chaque pourcentage des fibres, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.32: Résultat d'essai de traction par fendage.

Type de Béton		Traction par fendage			Moyenne
		1 ^{er} Epreuve	2 ^{ème} Epreuve	3 ^{ème} Epreuve	
Béton témoin	Poids kg	7.895	7.785	7.945	7.875
	Force KN	120	90	105	105
	Contrainte MPa	3.39	2.547	2.972	2.97
BRFM 0.8%	Poids kg	8.08	7.99	7.91	7.993
	Force KN	110	105	105	106.66
	Contrainte MPa	3.114	2.972	2.972	3.02
BRFM 1.2%	Poids kg	7.875	7.785	7.900	7.853
	Force KN	105	85	130	106.66
	Contrainte MPa	2.972	2.406	3.680	3.02
BRFM 1.6%	Poids kg	7.950	7.985	7.945	7.96
	Force KN	110	155	140	135
	Contrainte MPa	3.114	4.388	3.963	3.821
BRFM 2%	Poids kg	8.015	8.050	7.990	8.018
	Force KN	125	125	105	118.333
	Contrainte MPa	3.538	3.538	2.972	3.35

Les résultats obtenus sont convertis sous forme d'une courbe de variation de la contrainte à la compression en fonction du pourcentage des fibres : les contraintes dans l'ordonnée et les pourcentages dans l'abscisse

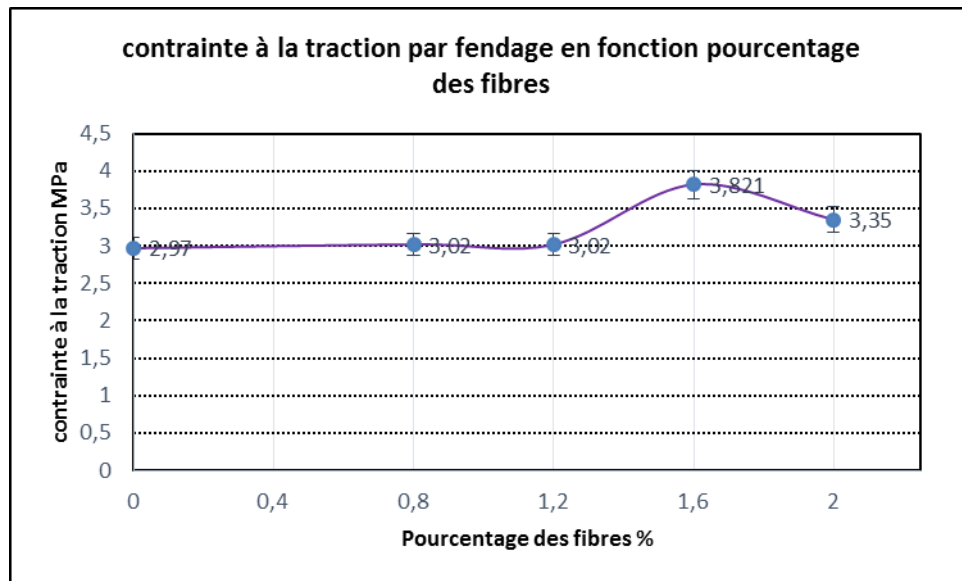


Figure VI.20: Courbe de contrainte du béton à la traction par fendage en fonction de pourcentage de fibres.

D'après la courbe de variation de contrainte, nous constatons que :

- La variation de contrainte est insignifiante pour les faibles pourcentages des fibres jusqu'à l'ordre de 1.2%.

- Avec l'augmentation de pourcentage des fibres, la variation des contraintes est considérable jusqu'à une valeur optimale de 1.6% pour une contrainte max de 3.83 MPa.

- Une diminution de la contrainte à la traction au-delà du point optimal.

De même que pour l'essai précédant la présence de fibres dans la matrice de béton a amélioré la contrainte à la traction par fendage, le taux d'augmentation de la contrainte pour la valeur optimale est de l'ordre de **28%**.



Photo VI.25: Des différents éprouvettes sans et avec fibres métalliques après l'essai de fendage.

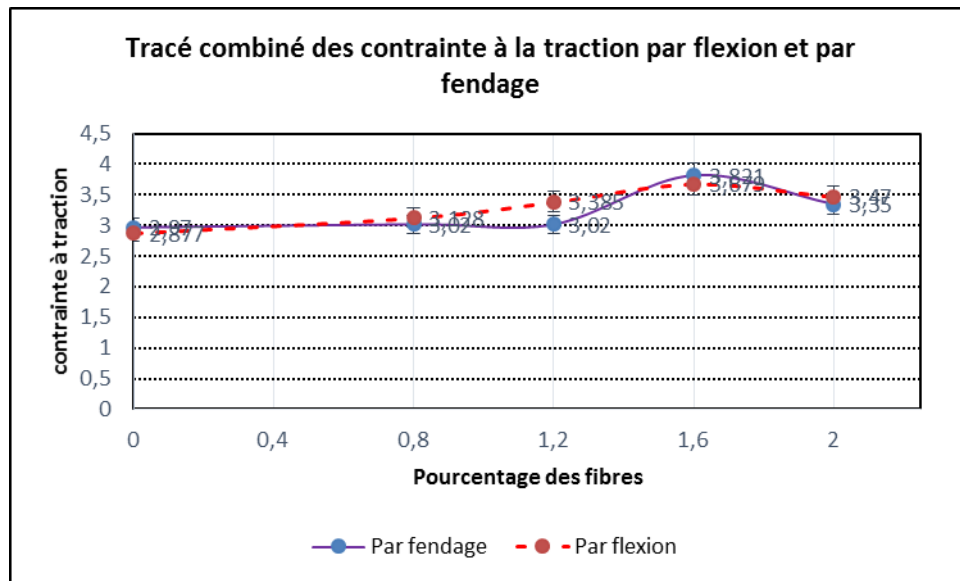


Figure VI.21: Courbe combiné des contraintes du béton à la traction par flexion et par fendage en fonction de pourcentage de fibres.

La combinaison des courbes des variations de contrainte en fonction du pourcentage des fibres montre la coïncidence de la valeur maximale de la contrainte à traction et le pourcentage optimal correspondent.

Donc nous concluons qu'un pourcentage optimal de 1.6% des fibres donne une augmentation de 28% de la contrainte de béton à la traction (Valeur très appréciable) par apport à l'utilisation des fibres normalisées.

VI.4. VALORISATION DES RESULTATS DES ESSAIS MECANQUES ENTRE BFM ET BFMN.

La valorisation de l'efficacité de ce type de fibres est devenue après des essais pour le but de comparaison des résultats retenus avec d'autres résultats d'un type de fibres normalisées pour un pourcentage optimal de 1.6%.

Les résultats retenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.33 : Résultats comparatifs entre BFM et BFMN

	Compression MPa				Moyenne
Béton témoin	Poids kg	7.868	7.747	7.893	7.836
	Force KN	960	1010.56	1004.92	991.826
	Charge MPa	42.66	44.914	44.93	44.168
BRFM 1.6%	Poids kg	8.014	7.999	7.987	8.000
	Force KN	1011.122	1024.44	1041.64	1025.734
	Charge MPa	44.939	45.531	46.295	45.588

BRFMN 1.6%	Poids kg	7.9363	7.9868	7.9684	7.9638
	Force KN	942.658	878.893	845.676	889.0756
	Charge MPa	41.896	39.062	37.599	39.519
	Traction par flexion MPa				Moyenne
Béton témoin	Poids kg	9.372	9.306	9.398	9.358
	Force KN	10.695	9.198	8.877	9.59
	Charge MPa	3.208	2.76	2.663	2.877
BRFM 1.6%	Poids kg	9.784	9.771	9.872	9.809
	Force KN	10.535	10.481	15.775	12.263
	Charge MPa	3.161	3.144	4.733	3.679
BRFMN 1.6%	Poids kg	9.5429	9.9992	9.572	9.7047
	Force KN	10.32	12.83	12.299	11.816
	Charge MPa	3.096	3.849	3.6897	3.614
	Traction par fendage MPa				Moyenne
Béton témoin	Poids kg	7.895	7.785	7.945	7.875
	Force KN	120	90	105	105
	Charge MPa	3.39	2.547	2.972	2.97
BRFM 1.6%	Poids kg	7.950	7.985	7.945	7.96
	Force KN	110	155	140	135
	Charge MPa	3.114	4.388	3.963	3.821
BRFMN 1.6%	Poids kg	7.960	7.920	7.910	7.930
	Force KN	120	120	105	115
	Charge MPa	3.397	3.397	2.972	3.255

Tableaux VI.34: Récapitulatifs des résultats comparatifs d'essais mécaniques entre BFMN et BFM.

	Compression MPa	Traction par flexion MPA	Traction par fendage MPa
Béton témoin	44.168	2.877	2.97
BRFMN 1.6%	39.519	3.614	3.25
BRFM 1.6%	45.588	3.679	3.821

Les résultats retenus montrent la coïncidence des résultats entre BFMN et BFM pour un pourcentage des fibres égales à 1.6%.

Nous concluons que l'utilisation des fibres métalliques (origine des copeaux de récupération) est justifiée pour un pourcentage de l'ordre 1.6%.



Photo VI.26: Comportement des éprouvettes BRFMN lors les essais mécaniques



Photo VI.27: La forme des éprouvettes avec BFMN après la destruction.

VII. Conclusion :

À la lumière des résultats obtenus nous ne concluons que l'intégration des fibres métallique a un rôle évident sur le comportement mécanique du béton, ils assurent les caractéristiques compressions d'un part, et améliorent les caractéristiques mécaniques à la traction d'autre part.

Les essais effectués et les résultats obtenus et les phénomènes constatés montrent que le type des fibres d'origine de copeaux, présente des comportements mécaniques identiques aux comportements de béton des fibres normalisées pour un pourcentage optimal de 1.6%.

Les résultats appréciables sont les résultats à la traction, donc on peut évaluer une expression linéaire entre la contrainte résultant de béton à la traction et le pourcentage des fibres.

$$f_{tj(BFM)} = f(X_{\%FM}) + f_{tj}$$

Avec

$-f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$ résistance caractérisée du béton à la traction.

$-f(X_{\%FM})$: fonction linéaire exprime les valeurs des réactions supplémentaires engendrées dans le béton lors l'incorporation des fibres métalliques dans le béton.

$-f_{tj(BFM)}$: résistance caractérisée du béton de la fibre métallique à la traction.

Il a été noté la diminution progressive de la contrainte pour des pourcentages de fibres au-delà de 1.6% dans les trois cas de comportement, ce phénomène est exprimé par l'influence du volume des fibres sur la matrice béton. L'augmentation de volume des fibres incorporées engendre une augmentation de la porosité du béton et par conséquent la diminution de l'adhérence entre les composantes et par la suite la diminution de la contrainte du béton.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement mécanique de béton renforcé par des fibres métalliques d'origine de copeaux, ces fibres devant lors de l'opération de fraisage des tubes des pipes dans la ligne de construction des conduites de transport par canalisation.

Selon la recherche bibliographique la majorité des fibres connue influant sur la maniabilité et par la suite sur la consistance du béton, ce qu'il exige des modifications dans les pourcentages de la matrice du béton, cette modification basée sur la recherche d'un rapport S/G adéquat au type de fibre (méthode de Baron-Lesage), par contre et après les essais de la maniabilité et la consistance du béton notre type présente un excellent comportement dans le béton à l'état frais son changement ou modification du rapport S/G.

L'ensemble des résultats retenus à la compression, à la traction par flexion et à la traction par fendage montrant une valeur optimale des fibres métalliques égale 1.6% qui correspond aux contraintes maximales dans les trois cas, les résultats montrant aussi la présence d'une augmentation de la contrainte max, l'ordre de 15 % à la compression et du 28 % à la traction.

La valorisation des résultats retenue par la comparaison par d'autres résultats des fibres normalisées pour un pourcentage optimal de 1.6 % montre que notre type fibres présente un comportement idem aux fibres normalisées

À cette étape notre type de fibres répond aux exigences et conditions préliminaires d'utilisation et d'incorporation dans le béton, donc ce travail est une participation dans l'ensemble des études et recherches élaborées dans le domaine du béton des fibres métalliques d'origine de copeaux de récupérations. Pour qu'il vienne un matériau avantageux dans tous les domaines de construction en toute sécurité, d'autres études et recherches futures peuvent améliorer l'utilisation et l'incorporation de types de matériaux dans le béton.

- [01] **Alain BRETTE**. « Laboratoire est génie civil » fascicule de cours.
- [02] **R. LANCHON**. « Cours de laboratoire granulats, béton et sols.
- [03] **Francis GORISSE**. « Essai et contrôle des bétons ». Édition Eyrolles 1978.
- [04] **R. Dupain, R. Lanchon et J.C. Saint-arroman**. « Granulats, Sols, Ciment et Bétons » 2^e édition conforme aux normes européennes.
- [05] **Par réunion d'ingénieurs**. « Matériaux de construction » troisième édition –édition Eyrolles- 1979.
- [6] **Pascal CASANOVA**. « Bétons renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure - étude expérimentale et analyse du comportement de poutres soumises à la flexion et à l'effort tranchant ». Thèse de doctorat- Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - 26 juin 1995.
- [7] **Pierre Rossi**, Directeur de recherche au L.C.P.C « Béton de fibre métallique ». Revue. - **Setti F. , Ezziane K. , Setti B.** “Effet des fibres métalliques sur certaines propriétés mécaniques du béton renforcé de fibres » université M’Hamed Bougara Boumerdès 15/16 Mai 2012 IV^{ème} SNMPE.
- [8] **Pierre ROSSI** : « Fibres métalliques ou fibres synthétique » Laboratoire centrales des ponts & chaussées. Revue. Mars – Avril 2010.
- [9] **L’association béton Québec en collaboration les manufacturiers de fibres métalliques et fibres synthétiques** : « guide de bonnes pratiques pour l’utilisation des fibres dans le béton » Janvier 2005.
- [10] **MOKHTARI Abdessamed** : « Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier » thèse magister, université KASDI Merbah Ouargla 06/11/2006.
- [11] **Abdou Kamel** : « Influence des fibres métalliques sur les variations dimensionnelles et pondérales d'une matrice cimentaire » thèse de doctorats d’état, université Mentouri constantine. 2007.
- [12] **Le magazine béton** : « les fibres métalliques » revue Mars/Avril 2013.
- [13] **Magazine : Tunnel et ouvrage sous terrain** : les performances techniques des bétons renforcés de fibres métalliques et polymères » revue n° 198 novembre/décembre 2006.
- [14] **ATLAOUI Djamel** : « Influence des fibres de récupération sur le comportement du béton armé » thèse doctorat, université Mouloud Mammri de Tizi-ouzou 30/01/2014.

- [15] **Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI NADIA** : « caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi ousou le 30/11/2010.
- [16] **Bidossessi A.Prosper PLIYA** : « contribution des fibres de polypropylène et métalliques à l'amélioration du comportement du béton soumis à une température élevée » thèse doctorat, université de ERGY PONTOISE , 29 Novembre 2010.
- [17] **BELFERAG Alaoua** : « valorisation des fibres métallique issues des déchets pneumatique dans les bétons de sable de dunes » thèse magister, université KASDI Merbah de Ouar-gla, 20 Juin 2006.
- [18] **DJBALI Saïd** : « caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques » thèse doctorats, université Mouloud MAMRI de Tizi –ouzou, 22 juin 2013.
- [19] **Fiches techniques** : LAFARGE, Béton provincial, Fibermix, Fibres SIKA, Steelmix , Steel construction et des avis technique sur les vibres métallique.
- [20] « **Trouvay &Cauvin** : Piping équipement » document technique de spécification des différent équipement d'industrie de hydrocarbure .
- [21] **Sonatrach- Activité transport par canalisation** :Cahier de charge pour la réalisation du gazoduc 48" projet GR-6.
- [22] **Revue Bibliographique** : Etude des bétons a Fibres renforcés par des fibres métalliques à base des fibres locaux- Colloque CMEDIMAT 2005, 06 et 07 Décembre2005.
- [23] **MEDDOUR Nesrine** : Le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale Dr. DJEBRI Boualem_2013.
- [24] **Ali ELLOUZE** : thèse de doctorat « bétons à fibres métalliques essais sur poutres et dallettes ».
- [25] DGM09/UMBB/2011 -2012 Mémoire chapitre V le bétons-fibres