

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر  
UNIVERSITÉ DESAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie civil

Spécialité : Géotechnique

---

# Influence des fibres aluminium sur les caractéristiques du béton

---

Présenté par :

**Benouis soumia**

**Mir zeineb**

Soutenu le 20 / 09 / 2020, devant le jury composé de :

M.Mohamed yazid harbit .....	Encadreur
Mme.Benguediab soumia .....	Examinateur
Mme.Gheffir meriem .....	Examinateur

**Année universitaire 2019/2020**

# *Remerciement*

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier en premier lieu, notre seigneur Dieu, le tout puissant qui nous a donné la patience, le courage et grâce auxquels nous avons pu achever ce mémoire.

Tout d'abord, un énorme et chaleureux merci à M. Mohamed yazid Harbit notre chère promotrice, pour avoir encadré et suivi ce travail.

Monsieur merci beaucoup pour votre disponibilité, pour les nombreuses et intéressantes discussions scientifiques, pour vos orientations constructives , pour les remarques , pour les nombreux conseils avisés, pour vos encouragements quotidiens, pour ne pas avoir cessé, pour le soutien permanent, pour votre compréhension, pour la confiance que vous nous avez accordée et, pour votre écoute et, tout simplement pour votre gentillesse, et sans oublier bien sûr ,de remercier votre famille.

Le grand humanisme, la simplicité, le dynamisme et la grande compétence ainsi que la démarche scientifique de notre promotrice resteront pour nous un modèle. Nous avons trouvé dans ses grandes qualités humaines et sa culture une source inépuisable d'enrichissement.

Nous remercions les membres du jury Mm "Benguediab soumia "et Mm"Gheffir meriem", de s'être donné la peine d'examiner notre modeste travail. Ainsi qu'à toute les personnes qui nous a apporté leur aide, et particulièrement :

- Monsieur Benieedisse chef du département Génie Civil université de Saida.
- Monsieur Derfouf mounir chef du Spécialité Géotechnique université de Saida.

Et enfin, nous exprimons notre reconnaissance à tous les enseignants qui nous ont enrichis avec un précieux savoir qui est le meilleur héritage pour l'avenir.

## *Dédicaces*

*C'est avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie et dédier ce travail modeste à :*

*A la mémoire de mon très cher père qui m'a toujours guidé dans la vie, mon exemple éternel après plus de 10ans de sa mort, que dieu te garde dans son vaste paradis*

*A mes ma cher maman, qui m'ont donné autant d'amour et d'affection et qui se sont toujours éveillé à ce que fille ait de bonnes qualités, je vous remercie pour m'avoir donné la chance de découvrir le monde du savoir*

*A mes très chers frères spécialement mon frères : "Amin" et leur famille et leur enfants "assile" et "khouider " et mon frères "farouk" A ma chères soeurs : "Mira" et leur mari et leur enfants "yassir" et "abdo"*

*A tous mes amis(es) spécialement :Chahrazad ,Nacira , Assia, Fatom, Meriem, TiTo Benalova ,Chakspir et leur famille*

*A mon binômes Zinoba et leurs familles*

*A toutes les familles Benouis et requig*

*A tous ceux qui sont dans mes pensées et que Je n'ai pas cité.*

"SOUMIA"

## *Dédicaces*

*C'est avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie et dédier ce travail modeste à : A*

*mémoire de ma grande mère :ZINEB*

*A mes très chers parents :DAHEMAN et HLIMA qui ont toujours été la pour moi ,et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance . J'espère qu'ils trouveront dans ce travail tout mon amour .*

*Ames chers frères et soeurs :badra ,kheira , fatiha , laaredj , marwan ,khawla, fatima , chahra,aicha ,fadila .*

*Et spécialement à Rahma et hadje*

*A mon Fidel ami :Fares L.*

*A ma binôme Soumia et toute sa famille.*

*A chaque cousins et cousines*

*"ZINEB"*

## ملخص

تعد إضافة الألياف في مواد البناء ، وخاصة الخرسانة ، تقنية مستخدمة بشكل متزايد ، لعدة أسباب ، إما بيئية أو اقتصادية ، أو لتحسين خصائص معينة في الحالة الطازجة أو الصلبة. تعتمد الخواص الميكانيكية للخرسانة الليفية على عدة عوامل وهي ظروف المعالجة ، والجرعة ، والتباعد ، والتوجيه وتوزيع الألياف في الخرسانة. ولتحقيق هذا الهدف ، فقد أخذنا في الاعتبار تغيير نسبة الألياف المعدنية الصناعية من وحدة الألمنيوم ومعرفة تأثيرها على الخواص الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: ألياف ، خرسانة ألياف ، ألياف ألمونيوم ، خواص ميكانيكية.

## *Abstract*

The addition of fibers in construction materials, in particular concrete, is a technique increasingly used, for several reasons, either environmental or economic, or to improve certain properties in the fresh or solid state. The mechanical properties of fibrous concrete depend on several factors which are the curing conditions, dosage, spacing, orientation and distribution of fibers in the concrete. To achieve this objective, we took into account the evolution of the proportion of synthetic mineral fibers of the aluminum unit and the knowledge of its effect on the mechanical properties.

**Keywords :** fibers, fiber-reinforced concrete, aluminum fibers, mechanical properties.

## *Résumé*

L'ajout des fibres dans les matériaux de construction, particulièrement, les bétons est une technique de plus en plus utilisée, pour plusieurs raisons, soit écologique, soit économique, soit pour améliorer certaines propriétés à l'état frais ou durci. Les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en oeuvre, le dosage, l'espacement, l'orientation et la distribution des fibres dans le béton. Pour atteindre l'objectif visé, nous avons envisagé de varier le pourcentage des fibres métalliques de nature industriel issues de l'unité d'aluminium et voir leurs influences sur les propriétés mécaniques.

**Mots-clés :** fibres, béton de fibres, fibres d'aluminium, propriétés mécaniques.

# Table des matières

<b>Remerciement</b>	<b>2</b>
<b>Dédicace</b>	<b>3</b>
<b>Dédicace</b>	<b>4</b>
<b>Résumé</b>	<b>7</b>
<b>Introduction Générale</b>	<b>16</b>
<b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>18</b>
<b>1 Généralités sur les bétons</b>	<b>20</b>
1.1 Caractéristique des composantes du béton . . . . .	20
1.1.1 Le béton . . . . .	20
1.1.2 Composants de béton . . . . .	20
1.1.3 Le ciment . . . . .	21
1.1.4 Granulats . . . . .	22
1.1.5 L'eau de gâchage . . . . .	24
1.1.6 Les adjuvants . . . . .	24
1.1.7 Les sables . . . . .	25
1.2 Types de béton . . . . .	26
1.3 Principaux avantages et inconvénients du béton . . . . .	27
1.3.1 Avantages du béton . . . . .	27
1.3.2 Inconvénients du béton . . . . .	27
1.4 Classification du béton . . . . .	27
1.5 Quelques méthodes de composition de béton . . . . .	28

---

1.6	Comportement mécanique	28
1.6.1	Résistance a la compression	29
1.6.2	Résistance a la traction	29
1.7	Comportement chimique	29
1.8	Mise en oeuvre	30
<b>2</b>	<b>Utilisation des fibres dans le domaine de Génie Civil</b>	<b>32</b>
2.1	les fibres	32
2.2	Types de fibres	32
2.3	Fibres naturelles	33
2.3.1	Fibres minérales	33
2.3.2	Fibres végétales	33
2.4	Fibres synthétiques	34
2.5	Fibres artificielles	34
2.6	Fibres de polypropylène	34
2.6.1	Fibres de verre	35
2.7	Fibres métalliques	36
2.7.1	Les fibres d'aluminium	36
2.8	Rôle des fibres	37
2.9	Influence du dosage en fibres	38
2.9.1	Optimisation rhéologique	38
2.9.2	Optimisation mécanique	39
2.10	Diverses applications	40
2.11	Composition et mise en oeuvre	42
2.11.1	Constituants	42
2.11.2	Formulation et mise en oeuvre	42
2.12	Avantage de la technique du renforcement par fibres	43
2.13	Elaboration du béton fibrés	44
2.13.1	Définition	44
2.13.2	Domaine d'application des bétons fibrés	44
2.14	Les propriétés thermiques des matériaux	44
2.15	Quelques définitions	45
2.15.1	La température	45

2.15.2	La conduction	45
2.15.3	PH	45
2.16	Notions de la conductivité thermique des matériaux	45
2.17	Avantage et inconvénient du béton fibré	47
<b>3</b>	<b>les études sur les fibres</b>	<b>49</b>
3.1	Les recherches effectuées sur les fibrés	49
3.1.1	Étude de l'influence des fibres métallique sur béton	49
3.1.2	Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier	50
3.1.3	Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les Bétons de sable de dunes	51
3.1.4	L'influence des cendres du grignon d'olive et les fines calcaires sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton	52
3.1.5	Effet de l'incorporation des fibres d'Alfa sur le comportement des bétons autoplaçants	53
3.1.6	Influence de fibres en polypropylène sur la ductilité d'un béton de sable	55
	<b>ETUDE EXPERIMENTALE</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>Caractéristiques et identification des matériaux</b>	<b>61</b>
4.1	Présentation générale	61
4.2	Les matériaux utilisés	62
4.2.1	Les Granulats	62
4.3	Identification des matériaux	62
4.4	Essais sur les granulats	62
4.4.1	Echantillonnage et prélèvement (NF P 18-533)	62
4.5	Analyse granulométrique (NF P 18-560)	64
4.5.1	Analyse granulométrique des gravillons	67
4.5.2	Analyses granulométriques du sable	69
4.5.3	Expression des résultats	69
4.5.4	Equivalent de sable (NF P 18-598)	70

---

4.5.5	Essai au bleu de méthylène dit aussi essai à la tache NF P 18-592	74
4.5.6	Détermination des masses volumiques <b>NF P 18 - 555</b> . . . . .	78
4.5.7	Détermination de la masse volumique absolue " $\rho_a$ " . . . . .	78
4.5.8	Détermination de masse volumique apparente "Pp" . . . . .	79
4.5.9	Mesure de la compacité . . . . .	81
4.5.10	Mesure de la porosité P . . . . .	81
4.6	Analyse granulométrique des fibres d'aluminium . . . . .	82
4.6.1	Analyse granulométrique par tamisage NF P 18 - 560 et NF EN 933 - 1 . . . . .	82
4.7	Détermination des masses volumiques . . . . .	83
4.8	Essais sur les ciments . . . . .	85
4.8.1	Masses spécifiques . . . . .	85
4.9	Résultats obtenus : . . . . .	87
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>89</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>90</b>

# Table des figures

1.1	Ciment	21
1.2	Fabrication du ciment	22
1.3	les Granulats utilisé dans le béton	23
1.4	Courbe granulométrique	24
1.5	Les constituants du béton (Fabrication du béton frais)	25
1.6	Transport et mise en place le béton frais	30
2.1	Exemples des fibres végétales	33
2.2	Fibres de polypropylène	35
2.3	Fibres d'aluminium	37
2.4	Illustration de l'apport du renfort par des fibres	38
2.5	Principe de couturassions d'une fissure	39
3.1	Effet des fibres sur les contraintes de compression et de traction	50
3.2	Résistances à la traction	51
3.3	Charges de rupture à la compression	51
3.4	Comportement des BFM à la compression en fonction du volume et du type de fibre	52
3.5	Résistance à la compression en fonction des différentes séries du béton.	53
3.6	Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en compression à 2 et 28 jours	54
3.7	Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en traction par flexion à 2 et 28 jours	55
3.8	Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.05 %	56
3.9	Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.10 %	57
3.10	Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.3 %	57

---

3.11	Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.5 %	58
4.1	Opération de quartage	64
4.2	Colonnes de tamis	66
4.3	Analyses granulométrique de sable et graviers	70
4.4	Equivalent de sable	73
4.5	Equivalent de sable	73
4.6	Résultat de bleu de méthylène	77
4.7	mesure de la masse volumique absolue.	80
4.8	Analyses granulométrique des fibres aluminium	83
4.9	mesure de la masse volumique absolue des fibres aluminium	84
4.10	mesure de la masse volumique apparente des fibres aluminium	85
4.11	conduite de l'essai de la masse volumique absolue	86
4.12	le dancimetre	86

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1:</b> les différents types et leur dimension des granulats.....	21
<b>Tableau 1.2 :</b> les défirent de béton et leur caractéristique.....	24
<b>Tableau 2.1 :</b> type des fibres et leur domaine d'applications .....	38
<b>Tableau 2.2 :</b> Valeurs moyennes de conductivité thermique de différents types matériaux ou produit.....	43
<b>Tableau 2.3:</b> Avantage et inconvénient du béton fibré.....	44
<b>Tableau 3.1 :</b> Résultats des essais de la flexion et compression.....	52
<b>Tableau 4.1:</b> Dimensions nominales des tamis.....	61
<b>Tableau 4.2:</b> Analyses granulométriques du gravier 3/8.....	63
<b>Tableau 4.3 :</b> Analyses granulométriques du gravier 8/15 .....	64
<b>Tableau 4.4:</b> Analyses granulométriques du gravier 15/25.....	64
<b>Tableau 4.5 :</b> Analyses granulométriques du sable 0/4.....	65
<b>Tableau 4.6 :</b> calcul d'ES pour le sable 0/4.....	70
<b>Tableau 4.7:</b> Les masses volumiques absolues des granulats.....	76
<b>Tableau 4.8:</b> Masses volumiques apparentes des granulats.....	77
<b>Tableau 4.9 :</b> Mesure de compacité et de la porosité des granulats.....	78
<b>Tableau 4.10 :</b> Classement dimensionnel par tamisage des fibres métalliques.....	79
<b>Tableau 4.11:</b> Les masses volumiques absolues des fibres aluminium.....	80
<b>Tableau 4.12:</b> Masses volumiques apparentes des fibres aluminium.....	81
<b>Tableau 4.13 :</b> Mesure de la masse volumique apparente.....	81
<b>Tableau 4.14 :</b> Mesure de la masse volumique absolue du ciment.....	84

---

# Introduction Générale

---

# Introduction Générale

## 1. Introduction

Le béton reste un matériau moderne, par ses nombreuses qualités il présente une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, mais sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la microfissuration limite son utilisation et fait qu'il doit être renforcé dans la majorité de ces applications. L'intérêt de renforcement de béton par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis à la traction. L'intérêt des fibres est d'agir comme des armatures " diffuses " à l'intérieur du béton, permettant de répartir la fissuration. Elles sont plus efficaces que les armatures traditionnelles vis-à-vis des fissures " de service ", de faibles ouvertures, mais ne permettent pas de reprendre en ultime des efforts aussi importants que les armatures. Leur efficacité est également d'autant plus grande que l'épaisseur de la structure est plus faible. En effet, les structures les moins épaisses tendent à présenter des fissures plus fines et plus réparties que les structures de grande hauteur. Pour la même raison, l'efficacité des fibres est d'autant plus grande que la structure est plus hyperstatique. L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres aluminiums permet non seulement d'améliorer le comportement en flexion et en traction, mais également la résistance à la compression du béton. L'introduction des fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à l'abrasion. Les fibres aluminium ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton soumis à l'abrasion et ralentir la dégradation. Les résultats obtenus par les différents chercheurs, concernant l'amélioration des performances mécaniques de béton fibré sont obtenus majoritairement en utilisant une plasticité

différentes, C.-à-d. un taux de super plastifiants constant quel que soit la quantité des fibres incorporé. Toutes les études confirme la difficulté de mise en oeuvre ou bien perte de maniabilité, c'est-à-dire qu'un béton dosé à 1% de fibre n'a pas la même maniabilité qu'un béton dosé à 2 % de fibre. Et donc il parait que la comparaison d'un béton plastique à un béton ferme ou mou est une hypothèse qui aboutisse à de conclusions douteuses, sachant que le super plastifiants apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire.

## 2. Organisation du document

Ce mémoire est structuré comme suite : Après une introduction générale, La première partie, est une étude bibliographique qui est devisée en trois chapitres : Le premier chapitre s'intitule généralités sur les bétons, dans le deuxième chapitre, nous présentons les différents types de fibres et leurs caractéristiques physiques et mécaniques, ainsi qu'un aperçu utilisation des fibres dans le béton, Le troisième chapitre nous allons citer quelques recherches sur les fibres. La deuxième partie, est consacrée pour l'étude expérimentale, Le premier chapitre s'intéresse à l'étude des caractéristiques des matériaux utilisés.

# ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

# Chapitre 1

## Généralités sur les bétons

---

# Chapitre 1

## Généralités sur les bétons

### Introduction

Il est considéré que le béton est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de la construction et du bâtiment, malgré sa complexité. Il contient habituellement un mélange de ciment, d'eau et des granulats, mais il est considéré comme homogène. Non seulement, il peut être moulé dans les formes les plus diverses (coupole, voûte et des éléments avec des formes compliquées), mais aussi une excellente résistance à la compression et une grande rigidité [1].

## 1.1 Caractéristique des composantes du béton

### 1.1.1 Le béton

Le béton est un assemblage de matériaux de nature généralement minérale. Il met en présence des matières inertes, appelées granulats ou agrégats (graviers, sables, etc.), et un liant (ciment, bitume, argile), c'est-à-dire une matière susceptible d'en agglomérer d'autres ainsi que des adjuvants qui modifient les propriétés physiques et chimiques du mélange. Mêlés à de l'eau, on obtient une pâte, à l'homogénéité variable.

### 1.1.2 Composants de béton

Le béton est composé de plusieurs constituants :

### 1.1.3 Le ciment

Le ciment est le liant hydraulique par excellence. Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile. Il fait partie des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance [2].

Le ciment est la partie " noble " du béton, c'est son développement qui a rendu pos-



FIGURE 1.1 – Ciment

sible la construction en béton. Il constitue aussi, dans la plupart des bétons, le poste le plus coûteux. Son rôle est en fait celui d'une « colle à cailloux » [3]. La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en plusieurs catégories :

- Le CEM I (ciment Portland) est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevé.
- Les CEM II A ou B (ciment Portland composé) ont pour particularité d'être très maniables. Ils sont donc utilisés dans les travaux d'usage courant tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples.
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau) sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont réputés pour être durables.
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques. Absents en France.
- Les CEM V A ou B (ciment composé) ont les mêmes propriétés physiques que

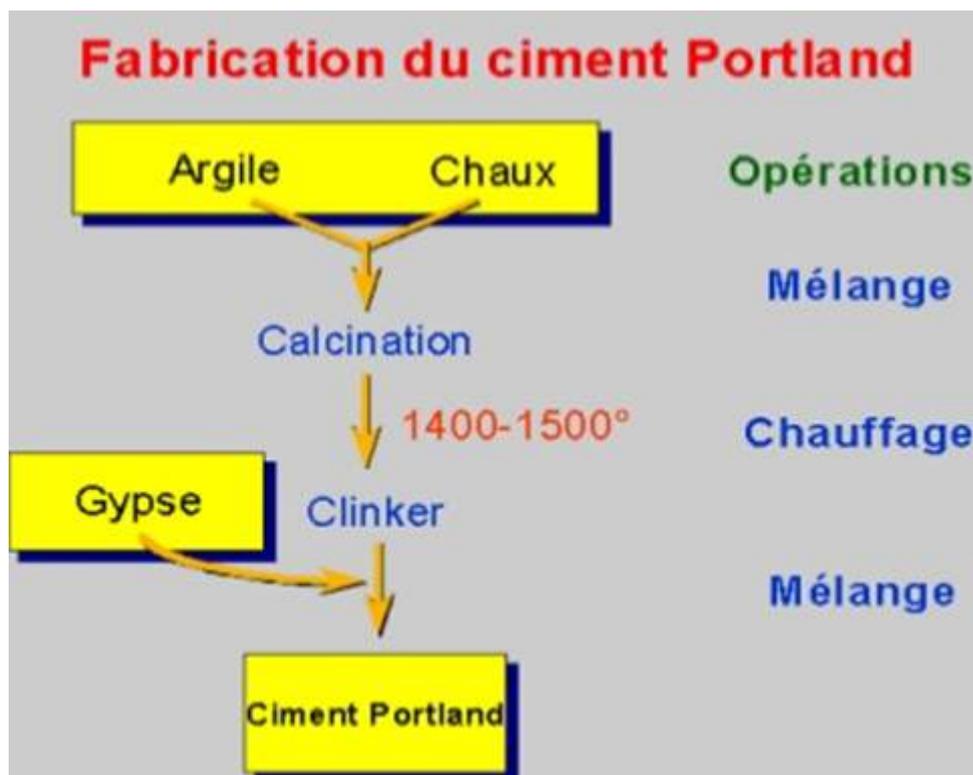


FIGURE 1.2 – Fabrication du ciment

les CEM III mais pas les mêmes constituants[4].

#### 1.1.4 Granulats

Parmi les composants de base du béton, les granulats qu'ils soient naturels ou artificiels, sont des granulats de différentes dimensions il doit être soigneusement sélectionné car ils transmettent certaines esthétiques et technique du béton, notamment sa résistance. Le choix du type de granulat utilisé ne doit donc pas être fait à la légère car il aura une influence sur la durabilité de votre béton. On distingue alors différentes sortes de granulats : les fillers, les sables, les graves, les gravillons et les ballasts.. [5]

##### 1.1.4.1 Classification des granulats

On classe les différents types de granulats en fonction de leurs dimensions, exprimées par la formule  $d/D$ .

- $d$  = diamètre le plus petit du granulat.
- $D$  = diamètre le plus grand du granulat.

##### 1.1.4.2 Les différents granulats



FIGURE 1.3 – les Granulats utilisé dans le béton

Types	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2\text{mm}$
Sables	0/D	$D \leq 4\text{mm}$
Graves	0/D	$D \geq 6,3\text{mm}$
Gravillons	d/D	$d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 125\text{mm}$
Ballasts	d/D	$d = 25\text{mm}$ et $D = 50$ ou $63\text{mm}$

**Tableau 1.1: les différents types et leur dimension des granulats.**

#### 1.1.4.3 Courbe granulométrique

La courbe granulométrique représente le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure à  $D$  en fonction de la dimension  $D$  d'un grain. On l'obtient par tamisage pour les grains de dimension supérieure à  $80 \mu\text{m}$  et par sédimentométrie pour les grains de dimension inférieure à  $80 \mu\text{m}$ . En sédimentométrie,  $D$  est le diamètre d'une sphère de même poids que le grain. En tamisage c'est la maille du tamis.

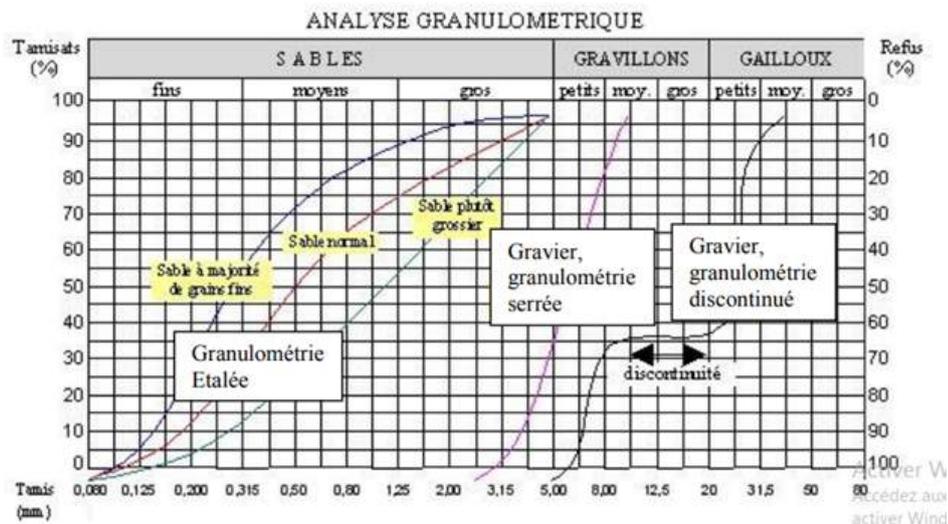


FIGURE 1.4 – Courbe granulométrique

### 1.1.5 L'eau de gâchage

Pour mélanger le béton et le rendre homogène, nous utilisons un composant de base, qui est de l'eau qui humidifie le ciment, libère sa capacité à se lier et facilite également l'application de béton. L'eau utilisée doit être propre et prenez garde à ne pas l'ajouter avec excès sous risque d'altérer les performances de votre béton. En effet, cela pourrait diminuer sa résistance et sa durabilité ?

### 1.1.6 Les adjuvants

il existe des produits qui ont la capacité d'améliorer certaines propriétés du béton, comme lorsqu'ils sont contrôlés ou étanches appelés les adjuvants, qui sont des produits chimiques ajoutés lors du mélange du béton à faibles doses (moins de 5 % de la masse du béton)[6]. Lors de la préparation et qui ont différents types qui vous permettent d'obtenir un bon résultat.-les différents types d'adjuvants :

- Les plastifiants (réducteurs d'eau).
- Les entraîneurs d'air.
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs).
- Les hydrofuges.

### 1.1.7 Les sables

Sable est avant tout un matériau naturel, issu du quartz ou du silex, largement utilisé dans le domaine de la construction. Le sable est constitué de grains plus ou moins fins, dont la dimension varie de 0,15 mm à 4,76 mm. En fonction de la taille des grains, on parle de sable fin, de gros sable ou de sable graveleux. Il existe ainsi différents types de sables, qui auront différentes utilisations en construction [7].

#### 1.1.7.1 Différents types de sables

On distingue les sables naturels des sables artificiels. Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Également appelé " sable des rivières " ou " sable alluvionnaire ", il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers. Un autre type de sable naturel est le sable de carrière, extrait des sablonnières et à la forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière. Quant au sable de mer, qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences. Enfin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux.

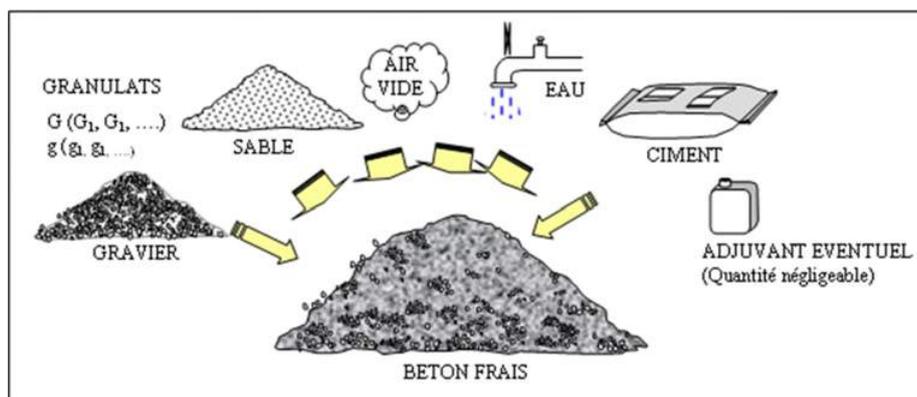


FIGURE 1.5 – Les constituants du béton (Fabrication du béton frais)

## 1.2 Types de béton

le tableau 1.2 classifie les différents types de béton [8] :

Types de béton	Caractéristiques	Exemples de dosages pour 1m <sup>3</sup> de béton	Applications
<b>Le béton léger</b>	Composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air.	Ciment : 400 kg ; Billes PSE : 350 L ; Sable : 950 kg ; Eau : 170 L ; Adjuvant : 1 à 4%.	Hourdis, cloisons, réhabilitation de bâtiment anciens, remplissages.
<b>Le béton lourd</b>	Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite).	Ciment : 250 kg ; Hématite 0/1 mm : 1000 kg ; Hématite 0/5 mm : 900 kg ; Hématite 8/25 mm : 1700 kg ; Eau : 120 L.	Protection contre les radiations, réalisation de contrepoids.
<b>Le béton auto-plaçant</b>	Ajout d'adjuvants tels que des superplastifiants et des agents de viscosité dans la composition. Béton très fluide se mettant en place sans avoir recours à un système de vibration.	Ciment : 350 kg ; Sable : 800 kg ; Gravillons : 900 kg ; Fines 200 kg ; Eau : 180 L <sub>xx</sub> .	Radier, fondations, sols industriels.
<b>Le béton fibré</b>	Ajout de fibres de nature, dimension et forme différentes. Réparties de manière homogène dans le mélange, ces fibres améliorent certaines caractéristiques du béton (résistance à la traction, tenue au feu).		Dalles, sols industriels, poutres, tuyaux.
<b>Les bétons hautes performances</b>	Bétons aux résistances accrues, très peu poreux. Plus durables.	Dépend du BHP.	Ponts, centrales nucléaires, ouvrages de grande ampleur.

Tableau 1.2 : les différents types de béton et leur caractéristique.

## 1.3 Principaux avantages et inconvénients du béton

### 1.3.1 Avantages du béton

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien.
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer.
- Il devient solide comme de la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires.
- Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées.
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication [9].

### 1.3.2 Inconvénients du béton

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toute façon, il reste les quelques inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de béton légers d'isolation)
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant du béton léger spécial)
- le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.

## 1.4 Classification du béton

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories. En général le béton peut être classé en trois groupes (norme NF EN 206-1 articles 3.1.7 à 3.1.9), selon sa masse volumique  $\rho$  : [9]

- béton normal :  $\rho$  entre 2 000 et 2 600  $kg/m^3$ .
- béton lourd :  $\rho > 2600$   $kg/m^3$  .
- béton léger :  $\rho$  entre 800 et 2 000  $kg/m^3$  .

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- béton de ciment .
- béton silicate (chaux) béton de gypse (gypse).
- béton asphalte .
- Béton résineux (résine).

## 1.5 Quelques méthodes de composition de béton

Pour déterminer la composition des bétons à mettre à en oeuvre, il existe plusieurs méthodes, telles que :

- Méthode de BOLOMEY.
- Méthode de VALLETTE.
- Méthode de FAURY.
- Méthode de DREUX-GORISSE.
- Méthode de JOISEL.
- Méthode des VOLUMES ABSOLUS.
- Méthode de BARON-LESAGE.

## 1.6 Comportement mécanique

Le béton est employé en générale comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qu'évolue avec le durcissement du béton il est donc considéré La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du béton la résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir[10] :

- La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants).
- Les conditions de la mise en oeuvre des constituants.
- Les conditions thermo hygrométrique ambiantes de conservation.
- Rapport E/C.

Il est défini par la résistance à la compression et par la résistance à la traction.

### 1.6.1 Résistance a la compression

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression  $R_{c28}$  mesurée sur des éprouvettes écrasée à 28 jours selon la norme NF EN 1239-3.

### 1.6.2 Résistance a la traction

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister a la compression et son comportement en traction est quasi fragile le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points désignée par  $F_{t28}$ .

## 1.7 Comportement chimique

L'attaque externe se produit lorsqu'un matériau cimentaire se trouve en contact direct avec une source de sulfate, comme dans les sols, les eaux souterraines, les eaux d'infiltration, les pluies acides (acide sulfurique) liées à la pollution industrielle atmosphérique.

Elle peut être décrite selon trois processus permettant d'évaluer l'agression :

- Le transfert dans le milieu poreux des ions sulfates qui est contrôlé par la perméabilité et la diffusivité du matériau.
- Les réactions chimiques entre les composants de la pâte de ciment, qui dépendent du ciment utilisé, et les ions.
- Le phénomène d'expansion, résultant de l'apparition de nouvelles phases cristallines et conséquence des deux premiers processus[11].

## 1.8 Mise en oeuvre

Toutes les opérations de mise en oeuvre sont importantes si l'on veut obtenir un béton dense de qualité homogène.

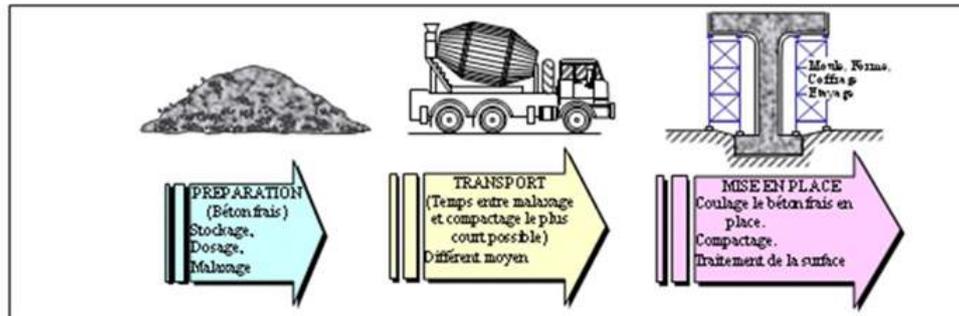


FIGURE 1.6 – Transport et mise en place le béton frais

### Conclusion

Le béton sont les matériaux les plus utilisés dans la construction, mais, ils résistent mal à la traction.

Les conditions d'environnement chauds et secs, tels que la région saharienne de notre pays, dessèchent ces matériaux hydrauliques ce qui induit à des retraits importants et des fissures dans les structures.

---

# Chapitre 2

## Utilisation des fibres dans le domaine de Génie Civil

---

# Chapitre 2

## Utilisation des fibres dans le domaine de Génie Civil

### Introduction

L'utilisation de la fibre au domaine construction est apparue il ya quelques siècles, et en conjonction avec le développement et la modernité ses utilisations se sont élargies pour inclure des fibres de béton sous différentes formes.

### 2.1 les fibres

Avant tout, il faut savoir qu'on appelle " fibre " un matériau d'une longueur allant de 5 à 60 mm. Il existe plusieurs natures de fibres : métalliques, organiques et céramiques. En fonction de leur nature, ces fibres ont des caractéristiques différentes et ne réagissent pas de la même façon. De ce fait, leur impact sur le béton peut varier. Dans le rapport sur l'état de l'art publié par le comité 544, de L'American Concrete Institute en 1982 nous pouvons lire : "Les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous différentes formes et dimensions "

### 2.2 Types de fibres

Les fibres sont utilisées dans les matériaux en béton et en ciment pour améliorer leur résistance et sont classées en fonction de leur source (naturelle, Industriel ou artificiel), ou sa forme (droite, ondulée ...), selon leurs dimensions ou leurs propriétés mécaniques

[26]. Les principales fibres utilisées sont :

## 2.3 Fibres naturelles

### 2.3.1 Fibres minérales

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

### 2.3.2 Fibres végétales

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Elles sont résistantes à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois). Les fibres végétales les plus utilisées sont la paille, le chanvre, le lin, le sisal et le bambou.



FIGURE 2.1 – Exemples des fibres végétales

## 2.4 Fibres synthétiques

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

## 2.5 Fibres artificielles

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

## 2.6 Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine ou il apporte les avantages suivants : bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée.

Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécanique élevées. L'ajout des fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux. Elles sont dans la (figure

2.2).



FIGURE 2.2 – Fibres de polypropylène

### 2.6.1 Fibres de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100 mm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types : les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

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

## 2.7 Fibres métalliques

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, font encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits aux nombreuses variétés de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.

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

Il existe d'autres types de fibres artificielles qui sont utilisé pour le renforcement des mortiers ou béton telle que, fibres d'amiante, fibres de cellulose...).

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : Dimensions (diamètre, longueur..), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres [27].

### 2.7.1 Les fibres d'aluminium

est très intéressant du point de vue de son recyclage et de sa valorisation. Les différentes origines des fibres d'aluminium sont les :

- Fibres neufs : chutes de fabrication, composition bien connue facilement recyclable.
- Fibres neufs : chutes de production et de transformation avec traitements de préparation et d'affinage plus complexes.

- Fibres usagés : objets divers (véhicules automobiles, déchets de démolitions, emballages de produits, boîtes-boissons, ...) avec traitements de préparation et d'affinage complexes avec tri manuel, broyage, tri par liqueur dense ou flottation, affinage. Le secteur de l'automobile est la première source de génération des déchets et 95 % de l'Aluminium utilisé dans ce secteur est recyclé. Les Ordures Ménagères (OM) collectées subissent un tri magnétique à courants de Foucault puis sont mises en balles de 250 kg. Leur teneur en aluminium est faible (0,5 % à 1 % des déchets ménagers, soit 2 kg/habitant/an). Sur les 20 millions de tonnes produites chaque année en France, on estime à 5,2 millions de tonnes la part des emballages dont 72.000 tonnes d'aluminium.



FIGURE 2.3 – Fibres d'aluminium

## 2.8 Rôle des fibres

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les Caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance

à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Il a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la (Figure 2.3.a)[27].

La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (Figure 2.3.b).

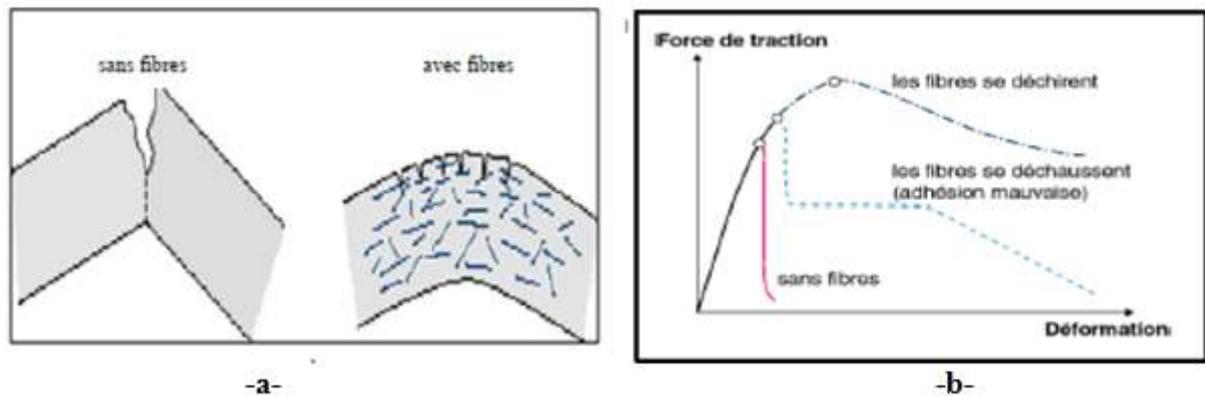


FIGURE 2.4 – Illustration de l'apport du renfort par des fibres

Le principe de couture des fissures et la limitation de leurs ouvertures est montré par (la figure 2.4) ; Les fibres qui traversent la fissure offrent une résistance résiduelle (résistance au-delà de la fissuration)[27]. Ces fibres se déforiment aux extrémités ancrées qui se redressent graduellement avec l'augmentation du chargement au-delà de la charge de fissuration.

## 2.9 Influence du dosage en fibres

### 2.9.1 Optimisation rhéologique

L'ajout de fibres dans un béton à l'état frais nécessite de nombreuses précautions notamment pour éviter la formation de pelotes et limiter le risque d'une orientation préférentielle.

La durée du malaxage influe sur la répartition des fibres au sein du béton frais. Si elle est trop courte, les fibres ne peuvent pas se répartir de manière homogène. Si elle est trop longue, la répartition peut devenir hétérogène du fait de la ségrégation des fibres. La maniabilité du béton est diminuée par l'ajout des fibres. Plus la quantité de

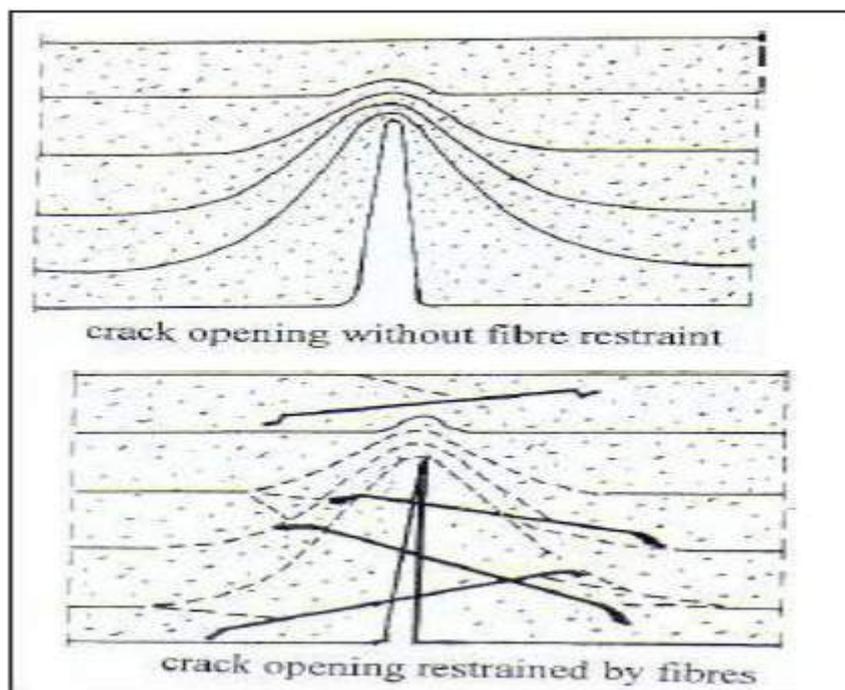


FIGURE 2.5 – Principe de couturassions d'une fissure

fibres et leur élancement sera fort, plus l'ouvrabilité du mélange sera affecté. Il est donc important d'utiliser des fibres de dimensions optimales et d'ajuster la composition de la matrice afin de permettre au béton de conserver une maniabilité suffisante.

Lors de la mise en place dans les moules, il faut limiter l'écoulement qui est responsable de l'orientation préférentielle des fibres dont nous parlerons plus spécifiquement dans le paragraphe suivant. L'orientation peut aussi être due à la vibration qu'il est important de limiter voir de supprimer en travaillant avec des bétons autoplaçants et à l'effet de paroi, ce dernier étant plus difficile à contourner.

## 2.9.2 Optimisation mécanique

La quantité de fibres dans un béton est une caractéristique prépondérante vis-à-vis du comportement post-fissuration. Soit deux fibres, l'une perpendiculaire au plan d'une fissure, l'autre inclinée par rapport à cette fissure. Si les deux fibres sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, elles agissent indépendamment vis-à-vis de la fissure, la fibre perpendiculaire étant plus efficace que la fibre inclinée. Le bilan du couple se résume alors à la somme de leurs actions individuelles.

En revanche, si la distance entre les deux fibres est telle que l'action de la fibre qui

travaille le mieux conduit, en outre, à confiner la fibre qui fonctionne le moins bien (c'est-à-dire provoquer une étreinte autour de cette fibre), cette dernière verra donc son efficacité vis-à-vis de la fissure accrue. Le bilan devient alors la somme de leurs actions individuelles plus quelque chose qui est la conséquence de leur "entraide", qu'on peut également qualifier de synergie positive.

Au contraire, lorsqu'on rapproche de plus en plus les deux fibres, il arrive un moment où la quantité de pâte de ciment qu'il y a entre elles devient tellement faible que l'enrobage de chaque fibre devient insuffisant (même si l'on augmente la quantité de pâte de ciment avec le pourcentage de fibres pour des raisons de maniabilité) pour assurer un fonctionnement correct de l'interface pâte-fibre. Les fibres travailleront moins efficacement que si elles avaient travaillé sans interactions. Le bilan est alors la somme de leurs actions individuelles moins un effet qui est la conséquence de leur "promiscuité", qu'on peut également qualifier de synergie négative. A partir de ce seuil, plus on ajoute des fibres, moins elles seront efficaces individuellement, et on assistera, au mieux, à une très faible augmentation des caractéristiques mécaniques et, au pire, à une diminution. Il est évident que le choix de la fibre est lié à la caractéristique mécanique que l'on désire améliorer, par exemple une fibre métallique pour augmenter les capacités portantes, ou une fibre synthétique pour améliorer le comportement post-fissuration ou la ductilité des bétons.

Ces seuils de synergie dépendent tous du type de fibre, de ses dimensions, du fait que la fibre fonctionne par ancrage réparti le long de la fibre ou concentré à ses extrémités ou encore par adhérence, du type de matrice (plus ou moins compacte) ou de l'orientation des fibres vis à vis de fibres.

## 2.10 Diverses applications

les nombreuses innovations de la technologie des bétons renforcés de fibres ont permis d'étendre considérablement la gamme des applications [28] (tableau 2.1)

Type de fibre	Dosage courant	Domaine d'application privilégié	Exemples d'application
<b>Fibres métalliques</b>	0,5 à 2% en volume 40 à 160 Kg /m <sup>3</sup>	Renfort pour bétons structuraux et armature structurelle	-dallages, sois industriels, planchers, dalles de compression -éléments préfabriqués voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux -bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation en pente et ouvrages d'assainissements -pieux de fondations, semelles filantes
<b>Fibres de polypropylènes</b>	0,5 à 2% en volume 0,5 à 2 Kg /m <sup>3</sup>	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue en feu des bétons	-dallages -voussoirs tunnels -revêtements d'ouvrages souterrains -mortiers projetés -parements esthétiques
<b>Fibres en verre</b>	1 à 2%	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	-parements architectoniques -panneaux de façade -éléments décoratifs

**Tableau 2.1 : type des fibres et leur domaine d'applications.**

## 2.11 Composition et mise en oeuvre

### 2.11.1 Constituants

Pour pouvoir se passer totalement des armatures conventionnelles (aciers passifs et de précontraintes), nous devons développer un matériau doté d'une résistance en traction qui avoisine les 20Mpa. L'homogénéité et la résistance sont les deux critères qui imposent l'emploi des fibres et leur dosage .naturellement l'obtention d'un bon composite ne se limite pas à l'incorporation d'un constituant dans un autre sans autre ajustement. Le comportement d'un composite étant dicté par les caractéristique mécanique de la matrice de renfort et de l'interface fibre-matrice, il convient d'optimiser chacun des constituants afin d'optimiser le produit final[29].

Les constituants entrants dans la composition de la matrice (ciment, eau, sable fumée de silice super-plastifiante) permettent l'obtention d'une matrice extrêmement compacte conduisant à des résistances en traction élevées et donc un encrage mécanique optimal des fibres. L'eau, les granulats et le ciment sont les constituants de base ; des additifs peuvent être ajoutés soit pour modifier les propriétés mécaniques en introduisant des fibres. L'étude du comportement du béton revient alors à l'étude d'un matériau hétérogène à deux phases :

- une phase visqueuse composée par la pâte de ciment.
- une phase composée par l'ensemble des granulats et des fibres.

### 2.11.2 Formulation et mise en oeuvre

#### 2.11.2.1 Formulation

Les règles récentes ne dictent aucune norme sur la formation des bétons. Une méthode de formulation a été mise au point depuis les années 80 en se reposant sur la méthode de Baron- Lesage[29], qui se base sur deux principes :

- Pour un rapport massique, eau sur ciment  $E/C$ , et une quantité de pate (eau+ciment) donnée, le béton est plus compact et possède une maniabilité optimale.
- Le dosage optimal en granulat ne varie pas avec la variation de rapport  $E/C$  et (eau+ciment).

L'ajout des fibres métalliques n'influe pas sur les deux premières hypothèses.

### 2.11.2.2 Mise en oeuvre

Après avoir ajusté les constituants en fonction de la destination de l'ouvrage, il sera malaxé de façon à avoir un matériau de composition homogène ayant par la suite des propriétés uniformes, notons que la construction avec ce type de matériau exige deux conditions :

- Le malaxage du composite doit conduire à une bonne rhéologie pour rendre possible sa mise en oeuvre. Se pose alors le problème de l'homogénéisation en fibres du mélange, sans formulation de pelote.
- Un bon matériau nécessite une bonne mise en oeuvre. Ce point est encore plus critique avec les bétons de fibres, puisque leurs caractéristiques mécaniques sont fortement dépendantes de la distribution et de l'orientation des fibres vis-à-vis de la direction de sollicitation principale, elles-mêmes induites par l'écoulement du matériau dans le monde.

On déduit alors que les propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de fibres à l'état durci et à l'état frais, dépendent fortement de leur composition de leur fabrication jusqu'à sa mise en oeuvre dans le coffrage.

## 2.12 Avantage de la technique du renforcement par fibres

Les avantages du renforcement des bétons par fibres sont [30] :

- o Résistance mécanique supérieure (résistance aux impacts ténacité en traction meilleure tenue à la fatigue, résistance au cisaillement, meilleur contrôle de largeur des fissures).
- o Renforcement multidirectionnel dans toute la masse du béton.
- o Qualité de conception supérieure.
- o Les fibres sont plus efficaces que les barres découpées et les treillis.
- o Éliminent la tâche d'élaborer l'acier sur chantier (décharge trier couper et poser l'acier).
- o Le bétonnage plus simplifié.
- o Une meilleure rentabilité sur le chantier (cout d'entretien, de la main d'oeuvre, et temps d'exécution).

## 2.13 Elaboration du béton fibrés

### 2.13.1 Définition

Afin de consolider et de renforcer les matériaux, le béton à haute performance est utilisé dans divers magazines de construction et de gros-oeuvre. Par conséquent, le nom du béton de fibres implique un béton constitué de fibres organiques métalliques ou minérales et est distribué de manière homogène pour atteindre l'objectif souhaité, qui est la résistance du béton à la résistance à la traction.

### 2.13.2 Domaine d'application des bétons fibrés

Les bétons fibrés peuvent être utilisés pour une grande variété d'applications en bâtiment et en génie civil[31] : -béton coulé en place (dalles, planchers, fondations, voiles, pieux, etc.);  
-béton préfabriqué (poutres, voussoirs, tuyaux d'assainissement, etc.);  
-béton projeté (voie mouillée/voie sèche, construction et réparation de tunnels, confortement de parois, etc.).

## 2.14 Les propriétés thermiques des matériaux

L'un des facteurs naturels les plus importants qui existent toujours, qui affecte le travail des arts et pénètre dans tous les corps et espaces et contribue à tous les phénomènes de l'univers, qui est la chaleur et est considéré comme la principale forme d'énergie Les propriétés thermodynamiques rassemblent les paramètres qui caractérisent le comportement Matériaux contre cette énergie. Il existe des lois physiques qui régissent ce comportement On les appelle des équations de chaleur [32].

## 2.15 Quelques définitions

### 2.15.1 La température

La température est la traduction à l'échelle macroscopique d'un état énergétique de la matière à l'échelle microscopique et on distingue [32] :

o Pour les solides : c'est l'état de vibration des atomes à l'intérieur d'un réseau cristallin ou de mouvement d'électrons pour les matériaux qui ont la faculté d'échanger des électrons.

o Pour les fluides : c'est l'état d'agitation des molécules.

### 2.15.2 La conduction

C'est le mode de transfert lent de la chaleur dans un solide ou encore dans un liquide (ou d'un gaz). Un exemple : propagation de la chaleur dans une paroi entre un intérieur d'un bâtiment chauffé et l'extérieur. Un autre exemple simple est celui d'un barreau de longueur  $L$  et de section  $A$  dont on chauffe une extrémité à une température  $T_1$  supérieure au reste du barreau qui est à température  $T_2$ .

### 2.15.3 PH

Est une grandeur qui se mesure et se calcule pour quantifier l'acidité d'une solution. Il reflète la concentration d'une solution en ions  $H^+$ . Plus une solution est concentrée en ions  $H^+$ , plus elle est acide et plus son pH est bas. L'échelle de pH s'étend de 0 à 14 :

- Si le pH est inférieur à 7, la solution est acide.

-Si le pH est égal à 7, la solution est neutre.

- Si le pH est supérieur à 7, la solution est basique.

## 2.16 Notions de la conductivité thermique des matériaux

Le flux de chaleur dépend de la densité de la porosité et du matériau ouvert ou fermé. Par conséquent, le transfert de chaleur se produit dans toutes les constructions, en particulier au niveau des murs et du plafond. La conductivité thermique est plus

faible La porosité est élevée et la densité est faible, donc plus la conductivité est élevée Plus la température est élevée, plus le matériau de transfert de chaleur et donc un isolant faible [33]. On va citer quelques définitions de la conductivité thermique :

La conductivité thermique est la vitesse d'écoulement de la chaleur (flux thermique) dans des conditions bien définies, rapporté à l'unité de surface (soit le  $m^2$ ), traversant un corps de 1m d'épaisseur par unité de variation de température dans une direction perpendiculaire à la surface[34].

<b>MATERIAUX</b>	<b>W/m.K</b>	<b>OBSERVATIONS</b>
BITUME	0.17	23°C
PIERRE	4.7	23°C
TERE (sol), sèche	0.4	23°C
SABLE	0.55 à 1.85	23°C
BETON	1.5 à 2	23°C
BETON CELLULAIRE AUTOCLAVE	0.1 à 0.3	
VERRE	1	23°C

**Tableau 2.2 : Valeurs moyennes de conductivité thermique de différents types matériaux ou produit.**

## 2.17 Avantage et inconvénient du béton fibré

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• Facile à mettre en oeuvre</li><li>• Béton plus léger que le béton ordinaire</li><li>• Béton plus durable</li><li>• Remplacement total ou partiel des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques)</li><li>• Diminution du risque de fissuration</li><li>• Résistance au feu, à l'abrasion, aux chocs, à la traction et à la flexion</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Le béton fibré est plus cher que le béton ordinaire (environ 70€ le m<sup>3</sup>)</li><li>• L'incorporation de fibres diminue l'ouvrabilité du béton, l'ajout de superplastifiant est alors recommandé.</li><li>• Il est interdit d'utiliser des fibres structurales en zone de risque sismique modéré et plus.</li></ul>

**Tableau 2.3: Avantage et inconvénient du béton fibré.**

### Conclusion

Les fibres peuvent exister sous différents types et formes. L'utilisation des ces fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de se croître pour la fabrication du béton prêt à l'emploi. Le béton fibré est un béton amélioré, renforcé par les fibres qui le composent. Pour la réalisation de dalles sur terre-pleins, de dallages industriels ou de fondations superficielles, il peut donc s'imposer comme un réel concurrent du béton armé.

---

## Chapitre 3

### les études sur les fibres

---

# Chapitre 3

## les études sur les fibres

### Introduction

La recherche et l'expérience ont permis l'introduction de fibres dans le domaine de la construction, ce qui permet de produire des éléments plus minces. Plus léger, plus résistant et moins sujet à la fissuration par un simple ajout à la quantité des fibres. L'incorporation de fibres dans le béton a un impact direct sur la maniabilité conduisant à une mise en œuvre très réfléchie[12].

### 3.1 Les recherches effectuées sur les fibrés

Plusieurs recherches ont été menées sur l'utilisation des fibres dans les bétons, et chacune de ces recherches ont abouties à des résultats. Dans ce qui suit nous allons présentés quelques-unes de ces recherches.

#### 3.1.1 Étude de l'influence des fibres métallique sur béton

Les fibres métalliques sont obtenues à partir de fils d'acier étirés pour améliorer le comportement mécanique du béton (résistance au cisaillement, en traction, en flexion, au choc), car sa longueur varie de 15 à 75 mm, avec une épaisseur pouvant atteindre 80 mm. Les fibres sont ajoutées directement dans le malaxeur à béton, simultanément au sable et au gravillon dans la bascule à granulats. Ils ont pris la précaution de malaxer le mélange (béton + fibres) pendant 20 secondes avant l'introduction de l'eau de gâchage. Ils ont fait varier le rapport massique  $S / S + G$  ( $S$  : sable,  $G$  : granulats), et puis déterminé pour chaque valeur de ce rapport la maniabilité correspondante[13].

Les résultats des essais de compression sur éprouvettes cylindriques (16 x32) de béton ordinaire et de béton de fibres ainsi les résultats d'essai de traction par fendage sur éprouvettes cylindriques (16x32) des deux types de béton sont représentées sur la (figure 3.1). BO : Béton ordinaire.

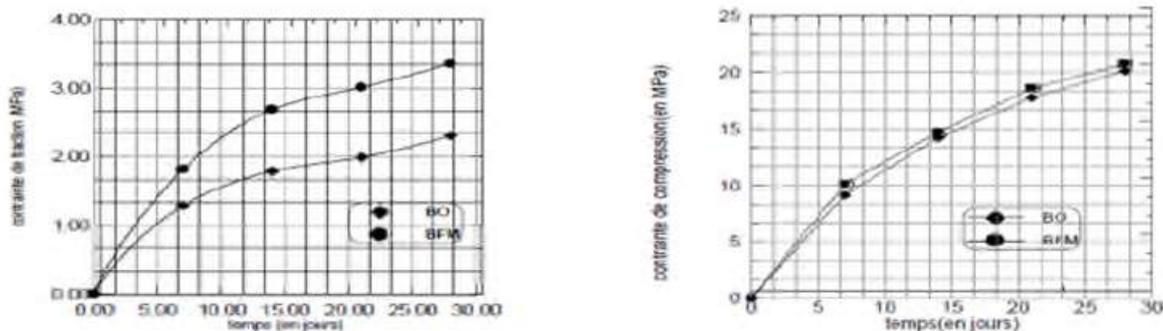


FIGURE 3.1 – Effet des fibres sur les contraintes de compression et de traction

BFM : Béton de fibre métallique.

D'après les résultats obtenus durant les essais de cette étude, on peut constater que le Béton de fibres métalliques peut remplacer le béton conventionnel armé dans les zones de Clavage des éléments structuraux.

### 3.1.2 Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier

Connaître l'effet de l'ajout de fines métalliques sur les performances mécaniques Béton renforcés avec des fibres végétales de palmier, les chercheurs ont étudié quatre types de béton [14]. Les histogrammes (3.2, 3.3) nous montrent la résistance à la compression et à la traction des quatre types de béton :

BSF : béton sans fibre

BFI50 : béton avec fibres industrielles

BSP50 : béton avec 50 % sous produit

BSP25 : béton avec 25 % sous produit

Pour les résistances à la compression, les résultats indiquent que les fibres industrielles ont une augmentation très peu importante. À la traction il y'a une augmentation de la résistance pour tous les bétons, On constate que les BSP25 réagissent comme les

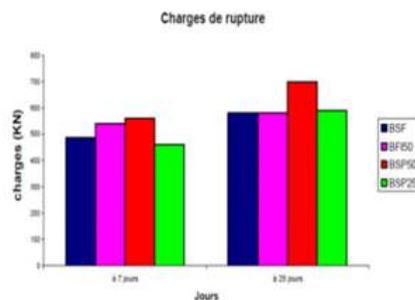


FIGURE 3.2 – Résistances à la traction

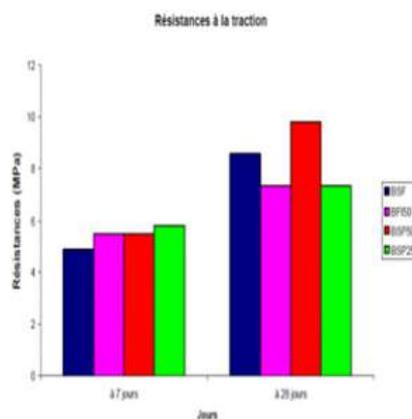


FIGURE 3.3 – Charges de rupture à la compression

bétons témoins, cela peut s'expliquer par la dimension des fibres qui se rapprochent de la dimension d'un gros granulat et fonctionnent ainsi comme un béton sans fibres. Il y a une nette augmentation de la résistance à la traction pour tous les mélanges de 7 à 28 jours.

### 3.1.3 Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les Bétons de sable de dunes

L'objectif de cette recherche est une contribution à la valorisation des déchets Pneumatiques et de sable de dunes dans le domaine de la construction[15].

Dans cette étude seront présentées les caractéristiques mécaniques (flexion, compression) et rhéologiques (retrait) des bétons de sable de dunes renforcés par des fibres

métalliques issues de pneus usés. les deux courbes suivantes nous présentent le comportement des BFM à la compression en fonction du volume et type de fibres :

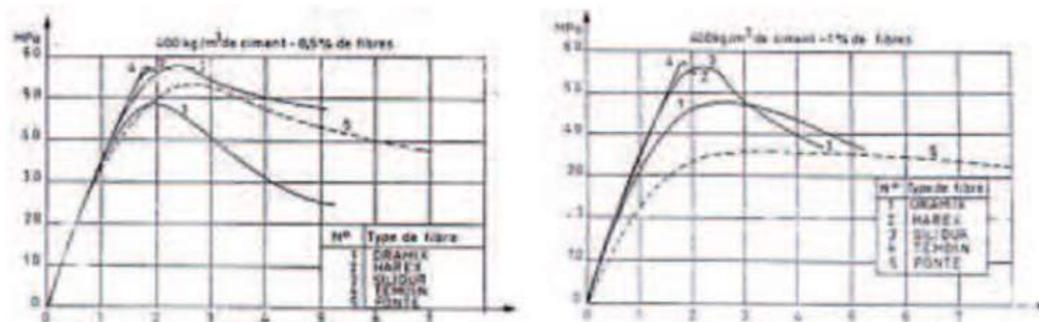


FIGURE 3.4 – Comportement des BFM à la compression en fonction du volume et du type de fibre

L'étude comparative concernant le béton classique et le béton de fibres métalliques, a montré dans leurs majorités une légère augmentation de l'effort maximum de compression en fonction de l'augmentation de la teneur en fibre. La résistance à la compression est peu influencée par la présence des fibres.

### 3.1.4 L'influence des cendres du grignon d'olive et les fines calcaires sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton

Les cendres du grignon d'olive ont une contribution positive à la résistance car la figure montrent que la résistance du béton de 10% est la teneur en cendres du grignon d'olive est supérieure à celle du béton sans ajout du béton avec 10% de fines calcaire et bon. Cela fonctionne également pour fermer les vides dans le béton et réduire la quantité d'eau de gâchage ( $E/C$ ) grâce au comportement d'absorption [16].

Les résultats obtenus dans cette étude peuvent mener suivantes :

L'introduction de 10% de cendres du grignon d'olive permet au béton de développer une résistance supérieure à celle du béton témoins et du béton avec 10% de fines calcaires au 28 jours.

L'emploi d'un adjuvant plastifiant donne des meilleures résistances à 28 jours.

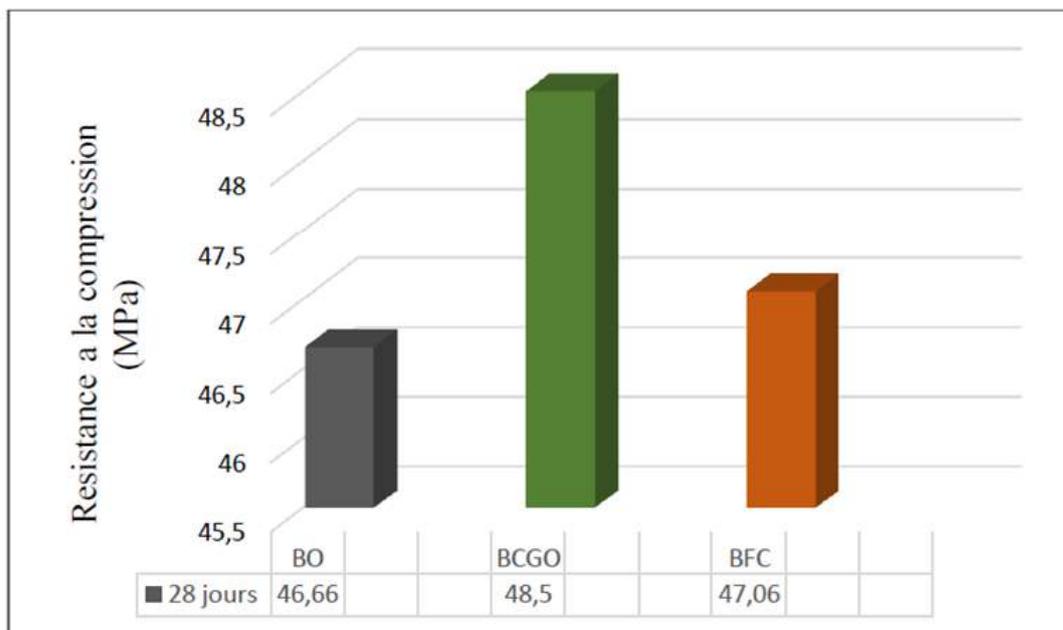


FIGURE 3.5 – Résistance à la compression en fonction des différentes séries du béton.

### 3.1.5 Effet de l'incorporation des fibres d'Alfa sur le comportement des bétons autoplaçants

L'alfa est l'une des fibres utilisées pour améliorer les propriétés mécaniques du béton. C'est une herbe qui pousse en blocs d'une hauteur d'environ 1 m à 1 m 20 et forme ainsi de larges couches et pousse spontanément, en particulier dans les environnements arides tels que les zones désertiques [17].

#### 3.1.5.1 La résistance en compression

Les résistances en compression à 2 et 28 jours des BAP étudiés sont présentés sur la (Figure 3.6).

Les résistances en compression des BAP fibrés sont légèrement inférieures à celle du BAP non fibré, la diminution de la résistance s'accroît avec l'augmentation du taux de fibrage. Cette perte de la résistance peut être expliquée par le fait que l'introduction des fibres entraîne la formation d'une porosité supplémentaire, localisée à l'interface fibre - matrice cimentaire, diminuant la compacité [18-19-20].

#### 3.1.5.2 La résistance en traction par flexion

Les résistances en traction par flexion à 2 et 28 jours sont présentées sur la (Fig 3.7).

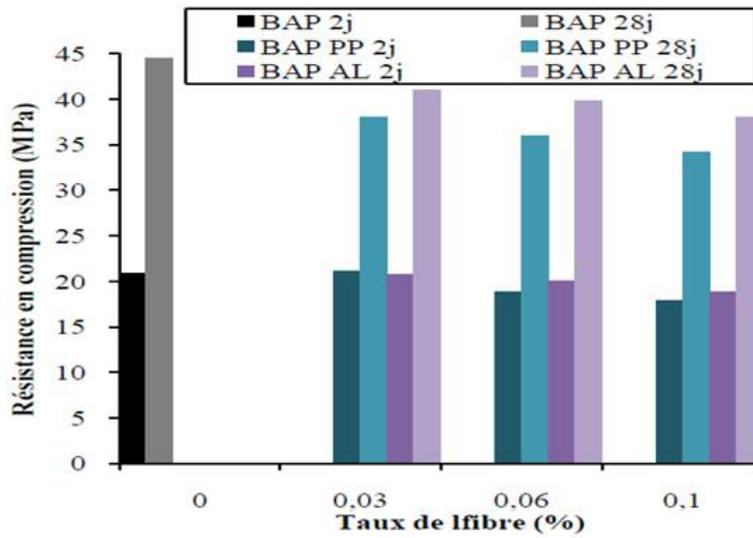


FIGURE 3.6 – Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en compression à 2 et 28 jours

L'introduction des fibres dans les BAP permet d'améliorer les résistances en traction par flexion [21-22]. L'augmentation des résistances est en fonction du type et du taux de fibrage. Ainsi, le taux optimal de fibrage pour les fibres PP semble se situer autour de 0,06 %. Ce taux correspond aux dosages de  $600 \text{ g/m}^3$ , ce qui a été montré par [19]. Cependant, pour les fibres d'Alfa l'amélioration des résistances ce fait ressentir pour un dosage de 0,1%.

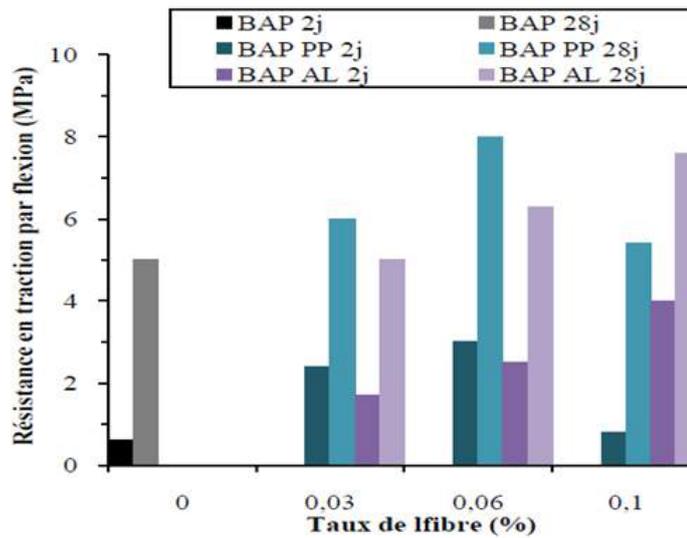


FIGURE 3.7 – Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en traction par flexion à 2 et 28 jours

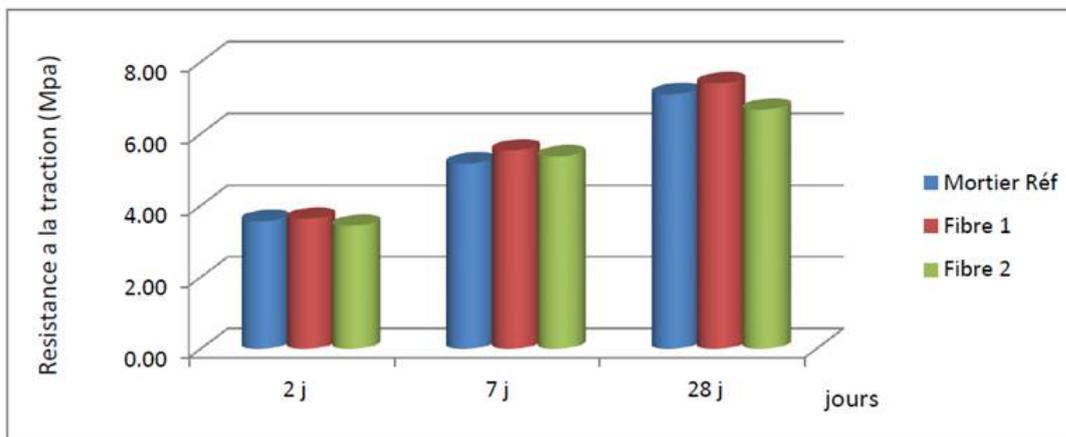
### 3.1.6 Influence de fibres en polypropylène sur la ductilité d'un béton de sable

Afin de connaître le comportement mécanique des bétons de sable renforcé par un mélange de fibres de polypropylène, des essais de compression et de traction par flexion à 28 jours ont été effectués[23].

Diamètre mesuré au labo (µm)	Fibre	Réf	Dosage	Résistance à la flexion (MPa)			Résistance à la compression (MPa)		
				2 j	7 j	28 j	2j	7j	28j
-	SANS FIBRE	GN	0%	3,57	5,17	7,21	15,52	27,18	40,20
29	Fibre 1 SIKA	F1M1	0,05%	3,63	5,53	7,40	15,75	28,43	43,25
		F1M2	0,10%	3,47	5,33	7,31	15,27	28,23	40,68
	ANTIFISSURE 12mm	F1M3	0,30%	3,10	5,27	7,36	13,82	27,45	38,04
		F1M4	0,50%	3,20	5,07	6,65	13,20	23,62	36,98
45,5	Fibre 2 SIKA	F2M1	0,05%	3,43	5,37	6,67	15,00	27,38	39,70
		F2M2	0,10%	3,27	5,80	7,16	13,43	28,18	40,14
	POLYPROPYLENE 12mm	F2M3	0,30%	3,27	5,00	7,30	12,77	24,55	39,13
		F2M4	0,50%	3,43	4,97	7,13	13,52	24,00	36,60

**Tableau 3.1 : Résultats des essais de la flexion et compression.**

Les résultats obtenus de la résistance à la traction par flexion et de la compression à 2 jours, 7 jours et 28 jours (état durci) sur des éprouvettes de 40x40x160  $mm^3$  confectionnés au laboratoire, sont représentés sur les figures ci-dessous.



**FIGURE 3.8 – Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.05 %**

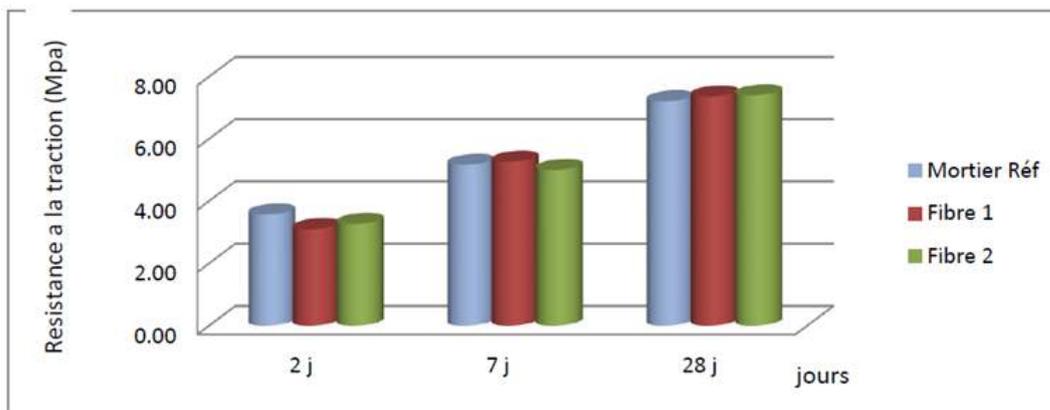


FIGURE 3.9 – Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.10 %

Les résultats obtenus (Figure. 3.8 et Figure. 3.9) montrent l'influence de l'ajout des fibres de polypropylène sur les caractéristiques mécaniques du béton de sable. Pour la fibre 1 de diamètre  $29 \mu m$ , les dosages en PP de 0.05 % à 0.30 % dans la matrice cimentaire ont fait augmenter la résistance à la flexion à 28 jours d'une manière significative 7,40 MPA pour le composite avec le dosage de 0.05 % en PP contre 7,21MPa pour le composite de référence. L'ajout de la fibre 2 de diamètre  $45.5 \mu m$  n'apporte aucun résultat significatif sur l'augmentation de la résistance à la flexion. Les résultats de la résistance à la compression montrent que l'ajout de la fibre PP n'améliore pas le comportement du béton de sable, cela confirme les études faites par différents chercheurs [24-25] qui ont confirmé que les fibres de polypropylène n'apportent pas d'amélioration sensible en compression.

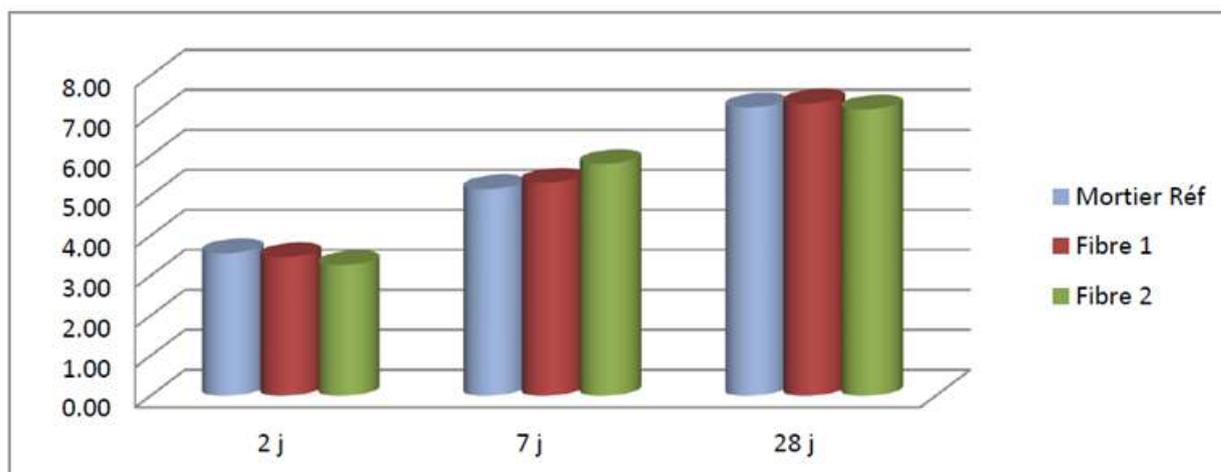


FIGURE 3.10 – Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.3 %

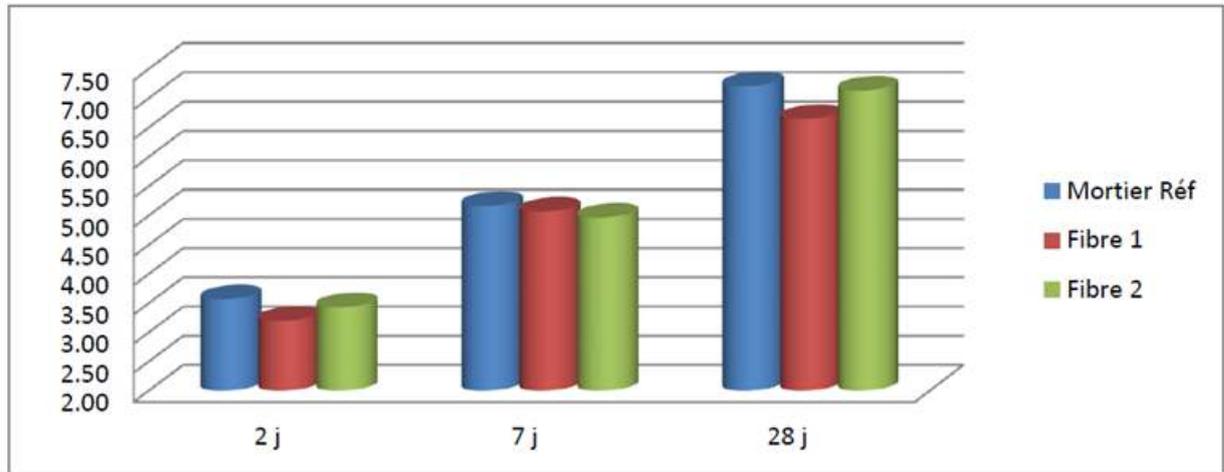


FIGURE 3.11 – Résistance à la flexion des fibres pour le dosage 0.5 %

Les résultats illustrés par les (figures. 3.10 et Figure. 3.11) montrent que l'influence du dosage en fibres de polypropylène sur la résistance en compression est négligeable. La différence des niveaux de résistance à 28 jours par rapport au béton de référence sans fibre est de l'ordre de 1.30 MPa qui représente une diminution de 3.24 % pour les essais effectués sur les échantillons. Une légère diminution de la résistance a été observée en passant d'un dosage de  $450 \text{ g/m}^3$  à un dosage de  $2700 \text{ g/m}^3$ . Cette chute de résistance est de l'ordre de 0.6 % pour les échantillons, mais elle reste néanmoins légèrement supérieure à celle de l'échantillon BS T ; cela est dû à la dispersion des valeurs des résistances de compression de différents échantillons caractérisée par l'écart type obtenu. Cela s'explique aussi par le fait que le taux élevé en fibres a un impact sur la bonne formation de la matrice cimentaire.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évoqué certaines des fibres étudiées par les chercheurs, qui se sont révélées extrêmement importantes pour améliorer les propriétés mécaniques du béton, ce qui le rend moins vulnérable au phénomène de flexion. Dans le chapitre suivant, nous verrons très bien l'étendue de son effet dans le béton.

# ETUDE EXPERIMENTALE

---

# Chapitre 4

## Caractéristiques et identification des matériaux

---

# Chapitre 4

## Caractéristiques et identification des matériaux

### Introduction

La caractérisation des matériaux est indispensable pour toute recherche ou étude d'investigation, parce que chacune de ces caractéristiques a une influence importante sur les résultats d'étude. Il faut connaître les caractéristiques des différents constituants, Pour confectionner un béton selon les normes adéquates. Ce chapitre, sera consacré à la détermination des caractéristiques des différents matériaux entrants dans la composition du béton et leur classification selon les normes.

### 4.1 Présentation générale

La désagrégation des roches primitives par l'eau, le vent et le gel, entraîne la formation de dépôts sédimentaire en couches meubles plus ou moins épaisse d'éléments de grosseur très variable, allant du sable sin aux gros blocs. Ces dépôts sont caractérisés par leur composition minéralogique, leur texture, leur état d'altération, et leur porosité. de ces caractéristiques dépendront les propriétés des granulats.

## 4.2 Les matériaux utilisés

### 4.2.1 Les Granulats

#### 4.2.1.1 le sable

Le sable utilisé est un sable de carrière, sa fraction 0/4, sa courbe granulométrique est donnée sur la (figure 4.3) page 71. " Les graviers Trois classes granulaires de graviers sont employées dans ce travail ; la fraction 3/8 et 8/15 la fraction 15/21. Leurs courbes granulométrique sont données sur la figure(4.3) page 71.

#### 4.2.1.2 Le Ciment

Le ciment utilisé est le ciment CPA-CEM1.

#### 4.2.1.3 L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage du béton est celle du robinet du laboratoire MDC de l'université Dr. Moulay Tahar.

## 4.3 Identification des matériaux

La cratérisation des matériaux passe généralement par :

1. L'analyse granulométrique,
2. Les masses volumiques apparentes et absolues
3. Equivalents du sable
4. Essai Blue au méthylène
5. Essai de Micro-Deval

## 4.4 Essais sur les granulats

### 4.4.1 Echantillonnage et prélèvement (NF P 18-533)

Il est possible de mesurer les paramètres distinctifs de tous les matériaux à partir desquels les échantillons ont été prélevés. Par conséquent, tous les tests effectués en laboratoire sont liés à la nécessité de faibles quantités de matériaux. Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps [35] :

- Prélèvement au niveau de la carrière d'une quantité de matériaux nettement plus

grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit.

- Au laboratoire : prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai et qui doit être également représentative de l'échantillon de départ. Chacun de ces deux échantillonnages doit donner un prélèvement aussi représentatif que possible de l'ensemble. Le premier est beaucoup plus embarrassant que le second.

#### **4.4.2 Prélèvement sur le tas (sable et gravier)**

Les essais que nous avons réalisés au laboratoire, ont porté sur des échantillons obtenus par des prélèvements sur les tas effectués au niveau [35] :

- De la carrière Sotramest SIDI BOUBKIR, SAIDA pour les graviers et les sables.  
- Pendant le processus de collecte et de stockage des éléments, les éléments de grands diamètres sont centrés au bas de tas, contrairement aux éléments de petits diamètres qui sont centrés en haut. On prélève donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin.

#### **4.4.3 Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire)**

L'échantillon nécessaire est prélevé pour être testé par l'outil d'échantillonnage, qui doit être séché à l'étuve en dessous de 105 ° C si l'échantillon est exempt de minéraux argileux rares ou à rare, ou à 60 °C dans le cas contraire.

#### **4.4.4 Quartage**

Comme le nom l'indique, on divise l'échantillon en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Si cette quantité (1/2) est encore importante, Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial (figure 4.1).

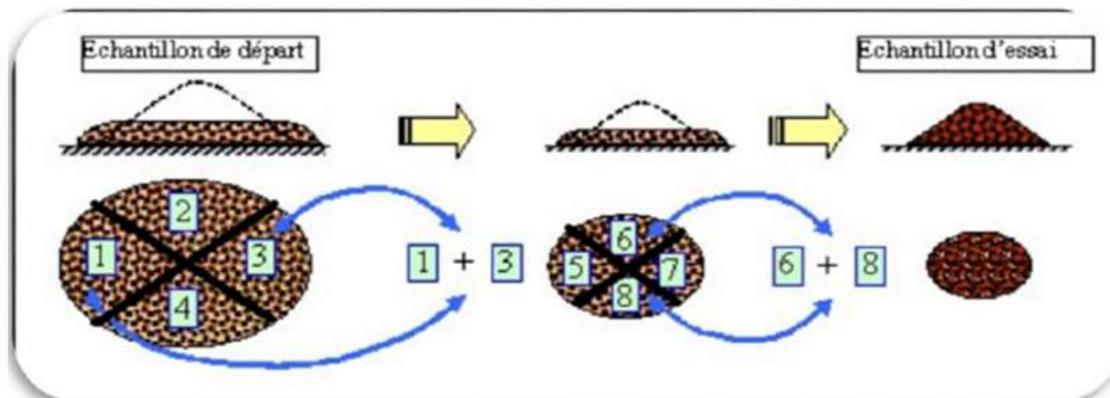


FIGURE 4.1 – Opération de quartage

## 4.5 Analyse granulométrique (NF P 18-560)

### But de l'essai

L'analyse granulométrique est la première de ces recherches, elle caractérise ces granulats en déterminant la grosseur des grains qui les constituent, et le pourcentage des grains de chaque grosseur[35].

Il est donc nécessaire de connaître les propriétés spécifiques des matériaux utilisés et représentés dans :

1. Les dimensions.
2. La forme.
3. La masse volumique.
4. La porosité.
5. La teneur en impureté, de l'échantillon qui a été prélevé.

### Principe de l'essai

À l'aide d'une série de tamis interférant les uns sur les autres avec des ouvertures de taille différente de bas en haut, les grains formant l'échantillon sont séparés et classés selon leur taille en plaçant l'échantillon étudié sur le tamis supérieur et les notes sont obtenues en faisant vibrer la colonne de tamisage.

## Matériel utilisé

Ce sont des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisées soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique, depuis le tamis  $0,063\text{mm}$  jusqu'au tamis  $80\text{mm}$ . Les Dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement. Selon la norme (NF P 18-560)[35], sont les suivantes :

Module	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Tamis (mm)	0.063	0.08	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tamis (mm)	0.800	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00
Module	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	/
Tamis (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	/

**Tableau 4.1: Dimensions nominales des tamis [35]**

## Conduite de l'essai

Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , et après avoir pris le poids de l'échantillon, on emboite les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'éviter toute perte de matériau pendant le tamisage (Figure 4.2).

On appellera tamisât, le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis. Le matériau étudié est versé sur le tamis supérieur et on met le couvercle pour éviter la dispersion de la poussière. On agite manuellement ou mécaniquement cette colonne de tamis. Puisque cette répartition ne sera pas complète, en prend chaque fois un tamis en adoptant un fond et un couvercle et en agitant ce tamis horizontalement en le tenant d'une main et en le frappant par l'autre. On pèse le refus jusqu'au dernier tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse.



FIGURE 4.2 – Colonnes de tamis

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé, soit  $R_1$  la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent, soit  $R_2$  la Masse du deuxième refus.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures Décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$  aux différents niveaux de la colonne de tamis.

### **Dimensions des tamis utilisés**

Pour les sables, on utilise les tamis d'ouverture (en mm) :  
0,063 - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 2 - 3,15 - 4.

Pour les graviers, on utilise les tamis d'ouverture (en mm) :  
1 - 2,5 - 4 - 5 - 6,3 - 8 - 10 - 12 - 12,5 - 14 - 16 - 20 - 25 - 31,5.

### **Préparation de l'échantillon**

La prise de l'échantillon est effectuée par quartage.

La masse du matériau utilisé sera tel que :  $M \geq 0.2 D$  selon la norme (NF 18-560)

Tel que :  $M$  : Masse de l'échantillon en kilogrammes (kg).

$D$  : Diamètre du plus gros granulat, exprime en millimètre ( $mm$ ).

Les masses des échantillons soumises à l'essai, sont les suivantes :

$$\text{Sable } 0/4 \text{ M} \geq (0.2).4 = 0.8 \text{ kg}$$

$$3/8\text{M} \geq (0.2)8=1.6\text{kg}$$

$$8/15\text{M} \geq (0.2).15 = 3\text{kg}$$

$$15/25\text{M} \geq (0.2).25 = 5\text{kg}$$

#### 4.5.1 Analyse granulométrique des gravillons

Les résultats des analyses granulométriques pour les gravillons 3/8 ,8/15 et 15/25 sont représentés dans les tableaux suivants :

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{\text{éch}}=1000\text{g}$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés $R_n$ (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
12	0	0	100
10	0	0	100
8	4	0.4	99.6
6.3	111	11.1	88.9
5	378	37.8	62.2
4	601	60.1	39.9
2.5	987	98.7	1.3
1	994	99.4	0.6
Fond	998	99.8	0.2

Tableau 4.2: Analyses granulométriques du gravier 3/8.

<b>Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M<sub>éch</sub> = 1000g</b>			
<b>Ouverture des tamis (mm)</b>	<b>Refus cumulés R<sub>n</sub> (g)</b>	<b>Refus cumulés (%)</b>	<b>Tamisât cumulés (%)</b>
16	74	7.4	92.6
14	196	19.6	80.4
12.5	349	34.9	65.1
10	630	63	37
8	844	84.4	15.6
6.3	950	95	5
5	989	98.9	1.1
2.5	997	99.7	0.3
<b>Fond</b>	999	99.9	0.1

**Tableau 4.3 : Analyses granulométriques du gravier 8/15.**

<b>Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M<sub>éch</sub> = 1000g</b>			
<b>Ouverture des tamis (mm)</b>	<b>Refus cumulés R<sub>n</sub> (g)</b>	<b>Refus cumulés (%)</b>	<b>Tamisât cumulés (%)</b>
31.5	0	0	100
25	34.5	3.45	96.55
20	182.2	18.22	81.78
16	943.8	94.38	5.62
14	993.5	99.35	0.65
12.5	995.8	99.58	0.42
10	997.6	99.76	0.24
8	999.4	99.94	0.06
<b>Fond</b>	999.4	99.94	0.06

**Tableau 4.4: Analyses granulométriques du gravier 15/25.**

## 4.5.2 Analyses granulométriques du sable

### Préparation de l'échantillon

On prend le poids du sable à son état naturel humide. Séché à l'étuve à une température de 105°C. Soit ( $M_{\text{éch}}$ ) sa masse sèche.

### Exécution de l'essai

Le mode opératoire de l'analyse granulométrique du sable est le même que pour les gravillons, le résultat de cette analyse est représenté dans le tableau suivant :

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{\text{éch}} = 1000\text{g}$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés $R_n$ (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	0	0	100
3.15	0	0	100
2	1	0.1	99.9
1	9	0.9	99.1
0.5	45	4.5	95.5
0.2	551	55.1	44.9
0.1	929	92.9	7.1
0.063	985	98.5	1.5
Fond	997	99.7	0.3

Tableau 4.5 : Analyses granulométriques du sable 0/4.

## 4.5.3 Expression des résultats

Les pourcentages des tamisât cumulés, sont représentés sous forme d'une courbe granulométrique sur un graphique semi-logarithmique, en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique et les pourcentages des tamisât en ordonnée, sur une échelle arithmétique. Les courbes sont tracées de manière continue et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points. Les représentations graphiques des analyses granulométriques des tableaux (4.2, 4.3 et 4.4), sont données par la (figure 4.3).

Il doit y avoir un rapport entre la taille des grains de sable pour que les éléments ne soient pas très petits ou vice versa. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire

d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse **MF**. Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules (22, 25, 28, 31,34, 37). Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

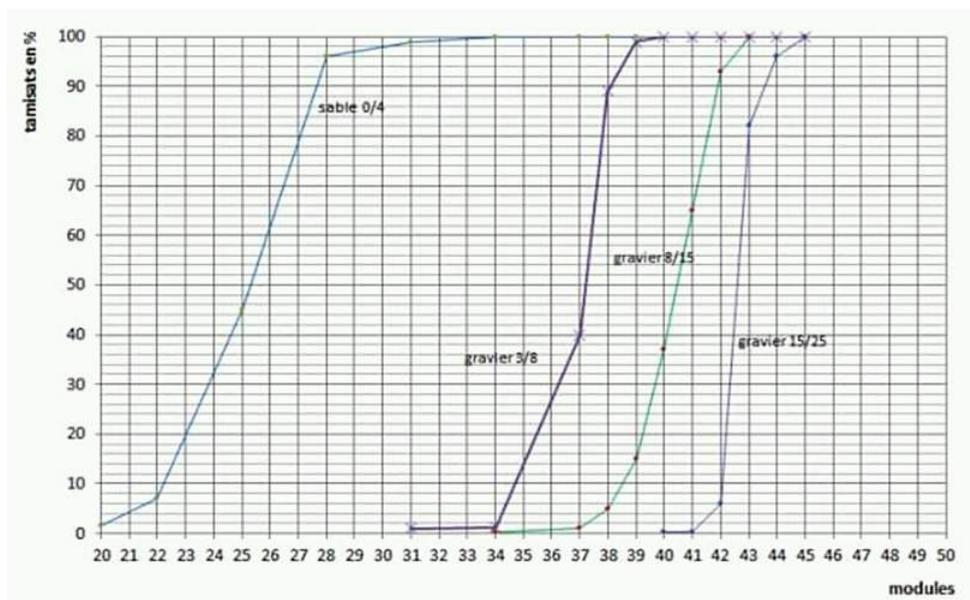


FIGURE 4.3 – Analyses granulométrique de sable et graviers

Dans le cas de la courbe granulométrique du sable présenté précédemment, son module de finesse est égal à :

$$MF = (98.5 + 92.9 + 55.1 + 4.5 + 0.9 + 0.1) / 100$$

$$= 2.52 \text{ Notre sable est préférentiel.}$$

$$2.2 < MF < 2.8$$

#### 4.5.4 Equivalent de sable (NF P 18-598)

##### Définition

Le rapport volumétrique du sable et des éléments fins ainsi que leur qualité (argile, impuretés, etc.) sont exprimés en calculant le facteur ES sur une portion de sable passant à travers un tamis de 5mm de diamètre .L'équivalent de sable est le rapport

multiplié par 100 de la hauteur sédimentée à la hauteur totale du floculat[36]. Ces hauteurs sont mesurées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution lavant capable de faire flocculer les éléments fins l'équivalent de sable s'exprime par :

- ESP : Equivalent de sable mesuré au piston (le sable est compacté dans l'éprouvette).
- ESV : Equivalent de sable mesuré a vue (les hauteurs mesurées directement par la règle).

### **But de l'essai**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté d'un sable si le pourcentage de fine ne dépasse pas les 10%.

### **Matériels utilisés**

- Prise d'essai correspondant à une masse sèche de 150g de sable passant au tamis de 5mm.
- Eprouvettes graduées.
- Un tube laveur (tuyau souple, robinet).
- solution lavant.
- Une règle graduée.
- Un piston.
- Un chronomètre.
- Un agitateur électrique.

### **Préparation de l'échantillon pour essai**

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NF P 18-553). L'essai s'effectue sur un sable dont la masse sèche doit être égale à 150g.

### **Exécution de l'essai**

#### **Mise en place de l'essai**

- La solution lavant ayant été introduite dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait de repère inférieur, la prise d'essai, correspondant à une masse sèche de 150g de matériau, est versée soigneusement à l'aide d'un entonnoir, dans l'éprouvette posée verticalement.
- Laisser reposer dix minutes.

### Agitation de l'éprouvette

- À la fin de cette période de dix minutes, boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation.
- Faire subir à l'éprouvette 90 cycles  $\pm$  1 cycle en 30 s  $\pm$  1 s.
- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essais.
- Lavage
- Enlever le bouchon et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavant.
- En descendant le tube laveur dans l'éprouvette, rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavant, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette.
- Faire remonter les éléments argileux, tout en maintenant l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante :  
l'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait de repère supérieur, relever le tube laveur, de façon à ce que le niveau du liquide se maintient à hauteur du trait de repère.
- Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

### Mesures

- Laisser reposer pendant 20min  $\pm$  10s.
- Au bout de ces 20 min, mesurer à l'aide du réglet la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.
- Mesurer également la hauteur h2 du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.
- Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette.
- Lorsque l'embase du piston repose sur le sédiment, bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston. Introduire le réglet dans l'encoche du manchon, faire venir

buter le zéro contre la face inférieure de la tête du piston.

- Lire la hauteur du sédiment  $h'2$  au niveau de la face supérieure du manchon.
- Arrondir les hauteurs  $h1$ ,  $h2$  et  $h'2$  au millimètre le plus voisin (Figure 4.4).

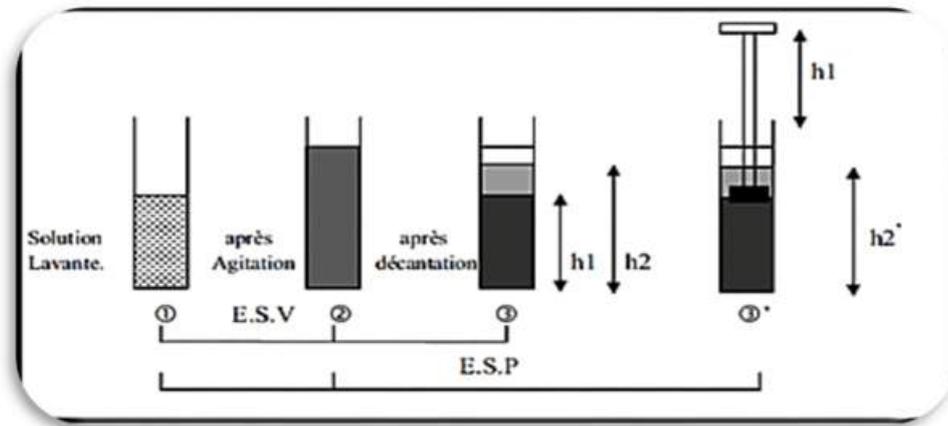


FIGURE 4.4 – Equivalent de sable



FIGURE 4.5 – Equivalent de sable

## Expression des résultats

L'équivalent de sable par piston est donné par la formule :

$$Esp = h'2/h1 \times 100$$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :

$$Esv = h2/h1 \times 100$$

Le (tableau 4.6) suivant récapitule les résultats de l'essai :

Eprouvettes	Hauteur total du flocculat h1 (cm)	Hauteur du sable visible h2 (cm)	Hauteur du sable par piston h'2 (cm)	Expression des Résultats		Moyenne	
				ESV (%)	ESP (%)	ESV <sub>moy</sub> (%)	ESP <sub>moy</sub> (%)
<b>1</b>	<b>10.3</b>	<b>5.8</b>	<b>9.6</b>	<b>56.31</b>	<b>60.42</b>	<b>56.49</b>	<b>59.79</b>
<b>2</b>	<b>10.3</b>	<b>5.9</b>	<b>9.8</b>	<b>57.29</b>	<b>60.20</b>		
<b>3</b>	<b>10.2</b>	<b>5.7</b>	<b>9.7</b>	<b>55.88</b>	<b>58.76</b>		

**Tableau 4.6 : calcul d'ES pour le sable 0/4.**

Dans notre étude on prendra en considération que la valeur de l'équivalent de sable par piston ESP donc :

$$ESP < 60$$

Sable argileux.

### 4.5.5 Essai au bleu de méthylène dit aussi essai à la tache NF P 18-592

#### Définition et but de l'essai

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à adsorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène étant adsorbé préférentiellement par les argiles, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. On appelle valeur au bleu des fines, la quantité de bleu de méthylène adsorbée par une quantité de fines [35] [36].

## Principe de l'essai

L'essai consiste à fixer sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par un test simple, on évalue la quantité de bleu fixé.

- On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylènes dans un bain aqueux contenant la prise d'essai.
- On contrôle la capacité d'adsorption du bleu après chaque ajout en effectuant une tache sur un papier filtre (teste à la tache).

## Equipement nécessaire

- Une balance de portée suffisante (capacité minimal de 300g), et d'une précision relative de 0.1 %.
- Un chronomètre au 1/10e de seconde.
- Tamis de mailles carrées d'ouvertures 5 mm et 2 mm.
- Un bécher en plastique ou en verre de 1000cm<sup>3</sup>, doit avoir les dimensions approximatives suivantes : 140mm de hauteur et 100 mm de diamètre.
- Un agitateur magnétique, de vitesse de rotation est d'au moins 400 tours/minute, muni d'un aimant de 8mm de diamètre et de 60mm de longueur.
- Burette de 50 ml, ou une burette automatique, graduée en 1/10<sub>e</sub>ml.
- Papier filtre sans cendre, de 95g/cm<sup>3</sup> de poids et de 0.2 mm d'épaisseur.
- Solution de bleu de méthylène, de quantité médicinale à 10g/l plus ou moins 0.1g/l.
- Eau distillée.
- Une baguette en verre, qui doit avoir une longueur approximative de 300mm et de diamètre de 8mm.

## Conduite de l'essai

- Préparation de la solution du bleu de méthylène à 10g/l : Préparer la solution de bleu de méthylène en mélangeant, à raison de 10g de poudre de bleu de méthylène par litre de solution, des cristaux de bleu de méthylène à de l'eau distillée.
- Porter à 40°C et agiter pendant 3h à environ 300 tours par minute, à cette fin utiliser l'agitateur magnétique combiné de plaque chauffante.

## Préparation de l'échantillon

L'essai est effectué sur la fraction granulométrique  $0/2mm$  du matériau ; car ce sont principalement les éléments les plus fins (inférieurs à  $2mm$ ). Qui contiennent la fraction argileuse. Celle-ci donne l'essentielle de la réaction au bleu de méthylène.

## Mise en place de la prise d'essai

On prépare 10g de la fraction  $0/2mm$  du sable sec que l'on met à tremper dans un bêcher de 100ml d'eau déminéralisée. Le tout est maintenu en agitation permanente au moyen de l'agitateur pendant 3 min, à  $400tr/min$ .

## Test de la tache

Il consiste à injecter successivement des doses bien déterminées de bleu de méthylène dans la suspension du sable jusqu'à atteindre la saturation des particules d'argile. Et le test de la tache permet de repérer l'instant de saturation.

Pour cela, on prélève une goutte de liquide dans le bêcher contenant le sable imbibé de bleu, et on dépose celle-ci sur le papier filtre.

Deux cas possibles :

La goutte centrale bleue est entourée d'une zone humide (auréole) incolore :

**Le test est négatif.**

La goutte centrale bleue est entourée d'une zone humide (auréole) teintée de bleu :

**Le test est positif.**

## Dosage

A l'aide de la burette, on injecte dans le récipient une dose de  $2cm^3$  de solution de bleu de méthylène, cette addition étant suivie du test de la tache sur le papier filtre.

On procède ainsi jusqu'à ce que le test devienne positif. A ce moment, on laisse s'opérer l'adsorption du bleu tout en effectuant des tests de minute en minute.

Chaque addition est suivie de tests effectués toujours de minute en minute.

### Expression des résultats

La valeur de bleu du sable est donnée par la formule :

$$V_B = V/M$$

Avec :

V : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif (en  $cm^3$ ).

M : masse sèche de la prise d'essai (en g).

### Résultats de l'essai

(Voir la figure 4.6).

$$VB = 15/10 = 1.5$$



FIGURE 4.6 – Résultat de bleu de méthylène

**Interprétation des résultats** Comme  $1.5 < VB < 2.5 \rightarrow$  Sable Argileux peu plastique.

## 4.5.6 Détermination des masses volumiques NF P 18 - 555

### Définition

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps[37]. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut distinguer de même :

- Masse volumique absolue.
- Masse volumique apparente.

Les masses volumiques s'expriment en  $t/m^3$ , en  $kg/dm^3$ , ou  $eng/cm^3$ .

### Principe de la détermination

Il suffit de déterminer le volume (absolu ou apparent) occupé par une certaine masse du corps étudié. La détermination des masses ne présente en général aucune difficulté. Il n'en est pas de même pour les volumes. Et le problème est très différent suivant qu'il s'agit de volumes absolus ou apparents : nous traiterons chacune de ces questions séparément.

## 4.5.7 Détermination de la masse volumique absolue " $\rho_a$ "

### Généralités

Mesurer le volume d'un liquide déplacé par l'insertion du corps est ce qu'on appelle la détermination de le volume absolue du corps.

### Définition

La masse volumique absolue " $\rho_a$ " est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides exister dans ou entre les grains.

#### -Méthode de l'éprouvette graduée

#### -Conduite de l'essai

Remplir une éprouvette graduée avec un volume ( $V_1 = 500ml$ ), ( $v_2 = 600ml$ ) et ( $v_3=700ml$ ) Peser un échantillon sec de granulat des masse  $M_1(300g)$ et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toute les boules d'air (figure 4.7). Le niveau monte dans l'éprouvette.

Lire le nouveau volume V2. La masse volumique absolue est alors :  $P_s = M / (V_2 - V_1)$

Les résultats obtenus pour les trios échantillons sont présentés dans le tableau (4.7) :

Echantillon		V1 (ml)	V2 (ml)	Ps (g/ml)	Ps moyenne(g/ml)
Sable 0/4	1	500	620	2.5	2.5
	2	600	720	2.5	
	3	700	820	2.5	
Gravier 3/8	1	500	610	2.72	2.72
	2	600	710	2.72	
	3	700	810	2.72	
Gravier 8/15	1	500	610	2.72	2.72
	2	600	710	2.72	
	3	700	810	2.72	
Gravier 15/25	1	500	610	2.72	2.87
	2	600	702	2.94	
	3	700	801	2.97	

**Tableau 4.7: Les masses volumiques absolues des granulats.**

#### 4.5.8 Détermination de masse volumique apparente "Pp"

La masse volumique apparente est déterminée convenablement à la norme NF P 18-554. Le volume en vrac du matériau en vrac, y compris les espaces vides, est ce que l'on appelle la masse volumique apparente.

##### Conduite de l'essai

Après quartage de l'échantillon, on le prend entre deux mains formant un entonnoir. On place les deux mains à 10 cm environ au-dessus du récipient. Laisser tomber le matériau, ni trop vite, ni trop lentement, en le disposant sans tassement par couches horizontales successives. Verser ainsi le matériau, toujours au centre du récipient jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône. Araser la couche supérieure du granulat à l'aide d'une règle. soit  $M'$ .

L'opération est effectuée trois fois pour chaque échantillon. On calcul alors la masse volumique apparente de l'échantillon " PP " par la relation suivante :  $P_p = (M' - M) /$

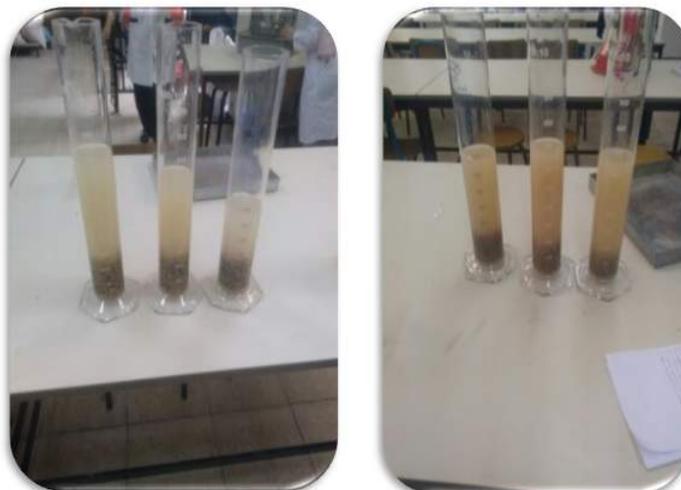


FIGURE 4.7 – mesure de la masse volumique absolue.

$V_r$  telle que :  $M'$  : masse du récipient+échantillon.

$M$  : masse du récipient vide.  $M=80g$ .

$V_r$  : volume du récipient.  $V_r=947.40 \text{ cm}^3$

Les résultats obtenus pour les trios échantillons sont présentés dans le (tableau 4.8)

Echantillon		$M'(g)$	$M'-M(g)$	$\rho_p (g/cm^3)$	$P_p \text{ moyenne } (g/cm^3)$
Sable 0/4	1	1369	1316	1.38	1.37
	2	1381	1301	1.37	
	3	1379	1299	1.37	
Gravier 3/8	1	1402	1322	1.39	1.38
	2	1416	1336	1.41	
	3	1401	1321	1.39	
Gravier 8/15	1	1387	1307	1.37	1.37
	2	1389	1309	1.38	
	3	1383	1303	1.37	
Gravier 15/25	1	13886	1306	1.38	1.39
	2	1408	1328	1.40	
	3	1423	1343	1.41	

Tableau 4.8: Masses volumiques apparentes des granulats.

### 4.5.9 Mesure de la compacité

#### Définition

On appelle compacité le rapport du volume absolu au volume du récipient[38].

$$C = (V_s / V) \leq 1 \text{ avec :}$$

C : la compacité.

$V_s$  : volume absolu du solide.

V : volume du récipient.

$$\text{Comme } M = V \times \rho_p$$

$$\text{Et } M = V_s \times \rho_a$$

Il en est que

La compacité se déduit donc, directement des mesures de masse volumique apparente et masse volumique absolue.

$$C = \rho_p / \rho_a = \text{masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}$$

### 4.5.10 Mesure de la porosité P

La porosité est le complément à l'unité de la compacité[38].

$$P = 1 - C$$

Les résultats obtenus sont donnés dans le (tableau 4.9) suivant :

Echantillons	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Compacité	Porosité
<b>Sable 0/4</b>	<b>1.37</b>	<b>2.5</b>	<b>0.54</b>	<b>0.46</b>
<b>Gravier 3/8</b>	<b>1.39</b>	<b>2.72</b>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>
<b>Gravier 8/15</b>	<b>1.37</b>	<b>2.72</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>
<b>Gravier 15/25</b>	<b>1.39</b>	<b>2.87</b>	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>

**Tableau 4.9 : Mesure de compacité et de la porosité des granulats.**

## 4.6 Analyse granulométrique des fibres d'aluminium

### 4.6.1 Analyse granulométrique par tamisage NF P 18 - 560 et NF EN 933 - 1

L'analyse granulométrique consiste à fractionner un matériau en différentes coupures au moyen de tamis. Les masses des différents refus (ou des tamisas) sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme d'une courbe granulométrique.

#### Préparation de l'échantillon pour l'essai

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à 0,2 D, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres. Les résultats de l'analyse granulométrique des fibres métalliques (fibres d'aluminium) sont représentés dans le (Tableau 4.10) suivant :

<b>Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M<sub>éch</sub> = 1000g</b>			
<b>Ouverture des tamis (mm)</b>	<b>Refus cumulés R<sub>n</sub> (g)</b>	<b>Refus cumulés (%)</b>	<b>Tamisât cumulés (%)</b>
<b>4.00</b>	<b>198.7</b>	<b>19.87</b>	<b>80.13</b>
<b>2.5</b>	<b>201.1</b>	<b>20.11</b>	<b>79.79</b>
<b>1.6</b>	<b>311.4</b>	<b>31.14</b>	<b>68.86</b>
<b>1</b>	<b>536.7</b>	<b>53.67</b>	<b>46.33</b>
<b>0.5</b>	<b>787.6</b>	<b>78.76</b>	<b>21.24</b>
<b>0.4</b>	<b>885.6</b>	<b>88.56</b>	<b>11.44</b>
<b>0.1</b>	<b>995.6</b>	<b>99.56</b>	<b>0.44</b>
<b>0.063</b>	<b>998.5</b>	<b>99.85</b>	<b>0.15</b>
<b>Fond</b>	<b>999.3</b>	<b>99.93</b>	<b>0.07</b>

**Tableau 4.10 : Classement dimensionnel par tamisage des fibres métalliques**

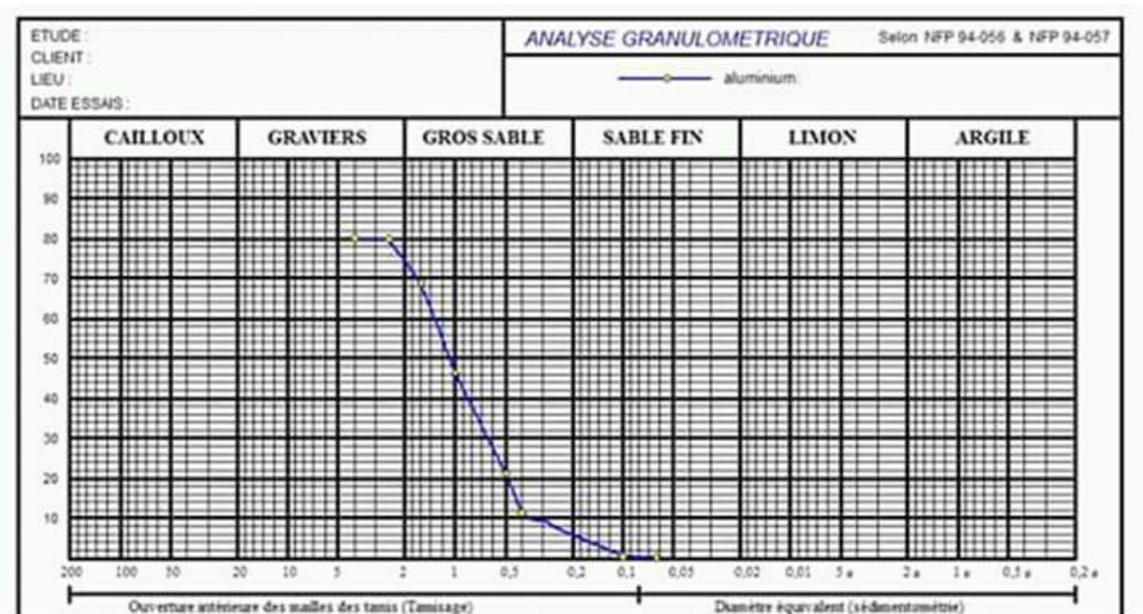


FIGURE 4.8 – Analyses granulométrique des fibres aluminium

## 4.7 Détermination des masses volumiques

-Détermination des masses volumiques absolues :

Echantillon		V1 (ml)	V2 (ml)	Ps (g/ml)	Ps moyenne(g/ml)
Les fibres aluminium	1	400	540	1.42	1.41
	2	500	650	1.3	
	3	600	730	1.53	

Tableau 4.11: Les masses volumiques absolues des fibres aluminium.



FIGURE 4.9 – mesure de la masse volumique absolue des fibres aluminium

-Détermination des masses volumiques apparente (tableau 4.12) :

Echantillon		M'(g)	M'-M (g)	pp (g/cm <sup>3</sup> )	Pp moyenne (g/cm <sup>3</sup> )
Les fibres aluminium	1	380.2	300.2	0.13	0.23
	2	353.9	273.9	0.28	
	3	352.7	282.7	0.29	

**Tableau 4.12: Masses volumiques apparentes des fibres aluminium.**



FIGURE 4.10 – mesure de la masse volumique apparente des fibres aluminium

## 4.8 Essais sur les ciments

Le ciment utilisé, est le ciment CPA-CEM1 [20].

### 4.8.1 Masses spécifiques

#### 4.8.1.1 La masse volumique absolue : EN196-60

##### Définition

La masse volumique absolue du ciment désigne le rapport entre la masse du ciment et le volume absolu correspondant [20].

##### Matériel nécessaire

- Un Densimètre "Le Chatelier "
- Une balance.

##### Conduite de l'essai

La méthode du volumétre (ou densimètre) Le Chatelier est la plus pratique et c'est celle que nous utiliserons. Il s'agit d'un récipient composé d'un ballon surmonté d'un renflement (de 20  $cm^3$  environs) puis d'un colétre gradué.

- Introduire l'essence(ou le toluène, ou bien le pétrole...etc.) jusqu'au niveau V1 voisin de 0. Noter V1.
- Peser le tout M1.

- Introduire le ciment (env. 60 g), pour faire augmenter ce volume approximativement de 20ml.
- Chasser les bulles d'air. Noter V2.
- Le ciment doit être introduit très lentement en vérifiant tout au long de son introduction qu'il ne se bloque pas dans le tube du volumétre ou de l'entonnoir en verre placé à l'embouchure du tube.
- Peser le tout : M2.

$$\rho_{ca} = \frac{M2 - M1}{V2 - V1}$$

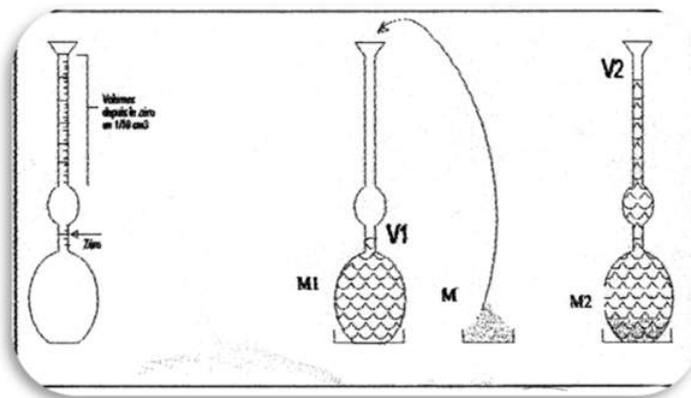


FIGURE 4.11 – conduite de l'essai de la masse volumique absolue



FIGURE 4.12 – le dancimetre

## 4.9 Résultats obtenus :

Masse	V1 (cm <sup>3</sup> )	M1 (gr)	V2 (cm <sup>3</sup> )	M2 (gr)
volume	0	386.2	19.3	446.2
$\rho_{cs}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10			

**Tableau4.13 : Mesure de la masse volumique absolue du ciment.**

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons travaillé sur les composants de base du béton à l'aide de nombreuses essais qui nous ont permis de connaître de nombreuses propriétés, dont la propreté du sable, la masse volumique absolue et apparente .... Notre travail ici s'est arrêté et nous n'avons pas pu présenter les résultats finaux en raison de la maladie de covid 19.

---

## Conclusion Générale

---

# Conclusion Générale

Notre travail consiste à étudier l'influence des fibres aluminiums sur les caractéristiques de béton cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes : L'étude bibliographique est basée sur l'étude des différents types de fibres et leurs utilisations. La première étape de notre travail expérimentale consiste à faire une caractérisation générale des matériaux utilisés :

- Le ciment utilisé est le ciment CPA-CEM1 de masse volumique absolue  $3.10\text{gr}/\text{cm}^3$
- Le sable utilisé est un sable moyen préférentielle ; argileux ; argileux peut plastique.
- L'eau de gâchage est celle de robinet de faible salinité.
- Les fibres utilisées sont des fibres aluminiums avec une masse volumique apparente  $0.23\text{gr}/\text{cm}^3$  et un masse volumique absolue  $1.41\text{gr}/\text{cm}^3$ .

La deuxième étape de notre travail est la formulation de béton Nous mettons les fibres dans de petites proportions et notons leur effet sur les propriétés mécaniques du béton, y compris le phénomène de traction et de flexion, mais notre travail n'était pas terminé et nous n'avons pas pu compléter les résultats en raison de la situation causée par la maladie Covid 19.

---

# Bibliographie

---

# Bibliographie

- [1] Mokhtari Abdessamed. " Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier ". Thèse de magister. Université de kasdi merbah Ouargla.2006.
- [2] DREUX .G." Le nouveau guide de béton".
- [3] De Larrard F. " Construire en béton l'essentiel sur les matériaux ". Thèse de doctorat, Presses de l'Ecole National Des Ponts et Chaussées ,199p. 2002.
- [4] V.PHOUMMAVONG "Cours en ligne Matériaux de Construction" Université National Laos 2006.
- [5] A. BRAHMA. «Le béton». Office des publications universitaires.1996.
- [6] Monsieur Vimane PHOUMMAVONG Vice-doyen et Professeur à la Faculté d'Ingénierie, Université Nationale du Laos, Campus Numérique Francophone de Vientiane.
- [7] V.PHOUMMAVONG "Cours en ligne Matériaux de Construction". ". Université national LAOS 2006.
- [8] Alouache Hicham, Saghi Sofiane «Influence des déchets de marbre sur caractéristiques mécaniques et le retrait des bétons». Année 2009/2010. Mémoire de fin d'études, Université de Bejaia.
- [9] V.PHOUMMAVONG "Cours en ligne Matériaux de Construction". Université national LAOS 2006.
- [10] BOUTIBA ALDJA. « Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci».Thèse d'ingénieur. Université de Bejaia.
- [11] DAVID PLANEL. «Les effets couples de la précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique des bétons».Thèse de doctorat. Université de Marne- La-Vallée.2002.

- [12] BELFARRAG ALLAOUA. " Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes ". Thèse de magister, Université de Ouargla.2006.
- [13] pascal casanova. "Bétons renforcés de fibre métallique du matériau à la structure ".Thèse de Doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.1995.
- [14] Mokhtari Abdessamed. " Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier ". Thèse de magister. Université de kasdi merbah Ouargla.2006.
- [15] BELFARRAG ALLAOUA. " Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes ". Thèse de magister, Université de Ouargla.2006.
- [16] HEMAN Lynda. GADOUM Ibtissam«Etude de l'influence des cendres du grignon d'olive comme addition sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton» Mémoire de fin d'études, Université de Bejaia
- [17] G.G.Giménez " Aportaciones a la química del esparto español ". Anales de la Universidad de Murcia. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55.
- [18] A. El Hilali, Étude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP) : Influence des fines calcaires et des fibres végétales, Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, 2009.
- [19] W. Laifa, M. Behim, A. Turatsinze, T. Ali-Boucetta, Caractérisation d'un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène t de Diss, Synthèse, 29 (2014) 100-110.
- [20] A. Belkadi, C. Amouri, A. Guettala, H. Houari, A. Zendaoui, Contribution à l'étude des performances rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants avec des fibres végétales (Chanvre et Alfa), Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne, France, May (2015).
- [21] M. Alcantara, Béton autoplaçant et fibrages hybrides : composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III, 2004.

- [22] A. S. Mohamed, Influence de la valorisation des microfibrilles végétales sur la formulation et la résistance aux cycles de gel-dégel de BAP, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [23] 24ème Congrès Français de Mécanique ; Brest, 26 au 30 Août 2019
- [24] Suhaendi,S.L., Horiguchi T, " Effect of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fiber reinforced high strength after heat exposition , cement and concrete research" , 2006 Vol.36, pp.1672-1678.
- [25] Hager, I. " Comportement à haute température des bétons à haute performance -évolution des principales propriétés mécaniques", Thèse de doctorat, école nationale des ponts et chaussées et école polytechnique de Croatie, novembre, 183p 2004.
- [26] Yousef Fritih, Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.
- [27] Chemrouk, M .Tahenni, T et Boulekbeche.B, "Béton renforcé en Fibres : un Matériau aux avantages multiples". 1ère Conférence.
- [28] A. Abdous. " Béton renforcé de fibre " Exposé de MDC.Université de Bejaia.
- [29] Mme Boukhezer née Ouari N. " Modélisation numérique de l'injection des bétons de fibres ". Thèse magister, Université de Bejaia.2006.
- [30] Abdou K. " Effet des fibres métalliques sur la caractérisation et les variations dimensionnelles et pondérales des matrices cimentaires renforcés de fibres ". Séminaire International Rabat - Maroc / 23-25 Novembre 2011.
- [31] A. Abdous " Béton renforcé de fibre ".Exposé de MDC. Université de Bejaia.
- [32] G. LOHMEYER ; Béton- technique ; Handbuch für planer and konstrukteur, béton Verlag, Dusseldorf, 1989.
- [33] IUP GENIE CIVIL. " Cours Transfert Thermique (Fichier PDF, 29 pages) ", 2002.
- [34] Bedjou.S. " Etude du recyclage de débris de briques ". Thèse de Magister. ENP (2003).
- [35] R.DUPAIN et R.LANCHON et J.C.ARROMAN : " Granulats, sols, ciments et Bétons" .Édition Casteilla 2004.
- [36] Recueil de normes françaises du " Bâtiment et travaux publics granulats ". 1ère édition .AFNOR.1982.

- 
- [37] Document de qualité "ISO" de L.T.P.E de Bejaia.
- [38] MEFTAH " Cours de MDC " l'école Nationale des travaux publics.