

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Science de l'ingénierie  
Département : Génie civil  
Domaine : Sciences et techniques  
Filière : Génie civil  
Spécialité : Matériaux du génie civil

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Thème:

**INFLUENCE DES FIBRES DE DISS ET LA POUDRE DE VERRE SUR  
LES PROPRIETES D'UN BETON ORDINAIRE**

Présenté par : *Toumiat Houssef Eddine*

Encadrant : *Laifa Walid*

MCB

Université d'El Taref

### Jury de Soutenance :

Behim Mourad	Pr	Université d'Annaba	Président
Laifa Walid	MCB	Université d'El Taref	Encadrant
Ali Boucetta Tahar	MCB	Université d'Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

## **REMERCIEMENT**

*Tout d'abord je remercie le bon dieu qui ma donner la patience et le courage afin d'achevé ce modeste travail.*

*En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Nous exprimons aussi nos profonds remerciements à notre encadreur, **Mr laifa walid** pour son suivi, ses précieux remarques et directives et surtout sa patience et son soutien qui nous ont orienté vers le bon chemin et nous ont beaucoup aidé à tenir jusqu'au bout, mille mercis.*

*Nous voudrions également remercier les membres du jury, Mr Ali Boucetta Tahar et Mr Behim Mourad pour avoir accepté d'évaluer ce travail, et pour les remarques et les conseils.*

*Nos profondes gratitudes s'adressent ainsi à l'équipe pédagogique du département de génie civil de l'université **Badji Mokhtar Annaba**, et au groupe de professeurs qui nous ont enseigné.*

*Enfin, remerciements spéciaux a nos parents et nos belle-famille, qui nous ont tellement encouragés et soutenus sans cesse tout au long de nos études.*

*Si le diplôme est une réflexion personnelle, chacun sait qu'il est enrichi par la discussion et les précieux conseils de tous ceux qui ont pris le temps de s'y intéresser.*

## ***RÉSUMÉ***

Les déchets ménagers ou industriels dégagent actuellement des problèmes particulièrement difficiles à résoudre. Or leur réutilisation pourrait offrir des avantages techniques, économiques et environnementaux. Par ailleurs, la valorisation des matériaux locaux est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays. C'est dans cette situation que s'ouvre la réflexion sur la formulation d'un nouveau béton utilisant des ressources abondantes et naturelles.

Le but de cette étude est l'incorporation des fibres de diss dans un béton ordinaire avec optimisation du dosage, ensuite la poudre de verre issue du recyclage des bouteilles de verre est ajoutée dans le mélange en substituant une quantité de ciment.

Les résultats obtenus nous encouragent à utiliser les fibres végétales à des dosages de 0,4 à 0,8 Kg/m<sup>3</sup> et montrent que la poudre de verre améliore le comportement du béton à l'état frais.

## **MOT CLES**

Béton, fibre de diss, poudre de verre, maniabilité, résistance mécanique.

## **ABSTRACT**

Household or industrial waste currently gives rise to problems which are particularly difficult to solve. However, their reuse could offer technical, economic and environmental advantages. In addition, the recovery of local materials has now become a necessary solution to the economic problems of countries. It is in this situation that the reflection begins on the formulation of a new concrete using abundant and natural resources.

The objective of this study is the incorporation of glass fibers into ordinary concrete with optimization of the dosage, then the glass powder from the recycling of glass bottles is added to the mixture, substituting an amount of cement.

The results obtained encourage us to use glass fibers at dosages of 0.4 to 0.8 Kg / m<sup>3</sup> and show that the glass powder improves the behavior of concrete in the fresh state.

## **KEY WORDS**

Concrete, vegetable fiber, glass powder, workability, mechanical strength.

## ملخص

تؤدي النفايات المنزلية أو الصناعية حاليًا إلى ظهور مشاكل يصعب حلها بشكل خاص. يمكن أن تؤدي إعادة استخدامها إلى فوائد تقنية واقتصادية وبيئية. بالإضافة إلى ذلك ، أصبح استعادة المواد المحلية الآن حلاً ضروريًا للمشاكل الاقتصادية للبلدان. في هذه الحالة ، يبدأ التفكير في صياغة خرسانة جديدة باستخدام موارد وفيرة وطبيعية. الهدف من هذه الدراسة هو دمج الألياف ال نباتية في الخرسانة العادية، ثم يضاف مسحوق الزجاج إلى الخليط عن طريق استبدال كمية من الأسمنت. النتائج التي تم الحصول عليها تشجعنا على استخدام الألياف النباتية بجرعات من 0.4 إلى 0.8 كغ/م<sup>3</sup> ونلاحظ أن مسحوق الزجاج يحسن سلوك الخرسانة في الحالة الطازجة.

## الكلمات المفتاحية

الخرسانة ، الألياف النباتية ، مسحوق الزجاج، المقاومة الميكانيكية.

# **SOMMAIRE**

## **LISTE DES FIGURES**

## **LISTE DES TABLEAUX**

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE..... 1**

### **CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

1. L'HISTOIRE DU BETON .....	3
2. DEFINITION GENERALE DU BETON .....	3
3. LES CONSTITUANTS DU BETON.....	4
Les granulats.....	4
Les granulats naturels .....	4
Les granulats artificiels.....	5
3.1.3 Classification des granulats .....	5
Le ciment.....	6
3.2.1. L'hydratation du ciment .....	9
Eau de gâchage.....	9
L'adjuvant .....	9
Quelques additions peuvent être ajoutées dans le béton.....	10
Laitier de haut fourneau.....	10
Fillers calcaires.....	11
Cendre volante.....	11
Fumée de silice .....	12
Poudre de verre.....	12
4. LA MISE EN ŒUVRE DU BETON .....	13
Le malaxage .....	13
Le transport.....	14
La vibration .....	14
5. LA FORMULATION DU BETON .....	14
6. LES PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LA FORMULATION DU BETON .....	15
Influence du rapport E/C .....	15
Influence de la quantité de ciment.....	15
Influence du rapport G/S .....	15

Influence de la granulométrie.....	15
Influence des adjuvants .....	16
7. AMELIORATION DES PROPRIETES DES BETONS .....	16
8. LES FIBRES .....	16
Différents types de fibres .....	16
Propriétés générales des fibres .....	17
Les fibres végétales .....	17
Classification des fibres végétales.....	18
Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales .....	18
Caractéristiques chimiques des fibres végétales.....	19
Rôle des fibres.....	19
Processus de couture des fissures.....	20
9. BETONS FIBRÉS.....	21
Comportement mécanique des bétons fibrés.....	21
Comportement à la compression et à la traction.....	21
10. CONCLUSION .....	22

## ***CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION***

1. INTRODUCTION.....	23
2. ESSAIS DE CARACTERISATION DES MATERIAUX .....	23
Analyse granulométrique .....	23
Module de finesse.....	23
Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) .....	23
La masse volumique apparente .....	24
La masse volumique absolue.....	24
3. MATERIAUX UTILISES.....	25
Le ciment.....	25
L'eau.....	25
Les granulats.....	25
Sable.....	25
Gravier 3/8.....	26
Gravier 8/16.....	26

Poudre de verre.....	28
Fibre de diss.....	30
Traitement des fibres de diss .....	30
Microstructure et caractéristiques des fibres de diss .....	31
4. FORMULATION DU BETON PAR LA METHODE DE DREUX-GORISSE .....	32
Composition des Bétons .....	32
5. PROPRIETES DES BETONS .....	33
Propriété du béton à l'état frais .....	33
Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	34
Propriété du béton à l'état durci .....	35
Préparation et conservation des éprouvettes .....	35
Choix des éprouvettes .....	36
Essai de compression.....	37
L'essai de traction par flexion .....	37
6. CONCLUSION .....	38

### ***CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION***

1. INTRODUCTION.....	39
2. BÉTON FRAIS .....	39
Ouvrabilité des bétons .....	39
3. BETON DURCI .....	40
Résistance en compression.....	40
Résistance à la traction par flexion.....	42
4. CONCLUSION .....	43
<b><i>CONCLUSION GENERALE</i></b> .....	<b>44</b>

### ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

## ***LISTE DES FIGURES***

### ***CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

<b>Figure I.1</b> : fabrication du ciment.....	6
<b>Figure I.2</b> : laitier cristallisé et granulé .....	10
<b>Figure I.3</b> : fillers calcaires .....	11
<b>Figure I.4</b> : cendre volante .....	12
<b>Figure I.5</b> : fumée de silice.....	12
<b>Figure I.6</b> : Exemples des fibres d'acier, de carbone et de polypropylène .....	17
<b>Figure I.7</b> : Exemples des fibres végétales.....	18
<b>Figure I.8</b> : Présentation de l'apport du renfort par des fibres .....	20
<b>Figure I.9</b> : Processus de couture : a) Influence des fibres courtes dans le processus de couture des microfissures, b) Influence des fibres longues dans le processus de couture des macrofissures.....	21
<b>Figure I.10</b> : Comportement en traction directe en fonction du pourcentage en fibres métalliques .....	21

### ***CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION***

<b>Figure II.1</b> : Essai de la masse volumique apparente.....	24
<b>Figure II.2</b> : Courbes granulométriques des granulats .....	27
<b>Figure II.3</b> : bouteilles de verre.....	28
<b>Figure II.4</b> : verre après concassage.....	29
<b>Figure II.5</b> : poudre de verre après broyage .....	29
<b>Figure II.6</b> : Diffractogramme du verre .....	29
<b>Figure II.7</b> : Fibre de diss après concassage et découpage .....	30
<b>Figure II.8</b> : Surface de la fibre de diss .....	31
<b>Figure II.9</b> : Courbe contrainte - déformation de la fibre de diss .....	31
<b>Figure II.10</b> : Essai d'affaissement au cône d'Abrams .....	35
<b>Figure II.11</b> : moulage du béton avant vibration.....	36
<b>Figure II.12</b> : conservation des éprouvettes .....	36
<b>Figure II.13</b> : Essai de compression.....	37
<b>Figure II.14</b> : Essai de traction par flexion .....	38

### ***CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION***

<b>Figure III.1</b> : maniabilité des bétons selon le dosage des fibres.....	40
<b>Figure III.2</b> : effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 07 jours.....	40
<b>Figure III.3</b> : effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 14 jours.....	41
<b>Figure III.4</b> : effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 28 jours.....	41
<b>Figure III.5</b> : effet des fibres de diss sur la résistance en traction à 07 jours.....	42
<b>Figure III.6</b> : effet des fibres de diss sur la résistance en traction à 28 jours.....	42

## ***LISTE DES TABLEAUX***

### ***CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

<b>Tableau I.1</b> : classification des ciments en fonction de leur composition .....	7
<b>Tableau I.2</b> : classification des ciments en fonction de leur résistance .....	8
<b>Tableau I.3</b> : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres .....	17
<b>Tableau I.4</b> : Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales .....	19
<b>Tableau I.5</b> : Composition chimique de quelques fibres végétales.....	19

### ***CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION***

<b>Tableau II.1</b> : composition chimique du ciment.....	25
<b>Tableau II.2</b> : caractéristiques physiques du ciment.....	25
<b>Tableau II.3</b> : Analyse granulométrique du sable.....	26
<b>Tableau II.4</b> : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	26
<b>Tableau II.5</b> : Analyse granulométrique du gravier 8/16.....	27
<b>Tableau II.6</b> : Caractéristique des granulats .....	27
<b>Tableau II.7</b> : composition chimique de la poudre de verre .....	28
<b>Tableau II.8</b> : caractéristiques physiques de la poudre de verre .....	28
<b>Tableau II.9</b> : Essais de prise sur différents mélanges.....	30
<b>Tableau II.10</b> :Caractéristiques des fibres de diss .....	32
<b>Tableau II. 11</b> : Formulation des bétons .....	33
<b>Tableau II.12</b> : Consistance du béton .....	34

### ***CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION***

<b>Tableau III.1</b> : Ouvrabilité des bétons en fonction du dosage en fibre .....	39
--	----

## *INTRODUCTION GENERALE*

La valorisation des matériaux locaux dans la construction est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays, notamment des pays en voie de développement. C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la recherche de nouveaux bétons capables de résoudre les problèmes économiques et techniques, rencontrés dans le domaine de la construction.

Par ailleurs, la réutilisation des différents déchets, qui constituent une gêne environnementale, a fait également l'objet de nombreux travaux actuellement. Parmi ces travaux, on trouve des déchets de bouteilles de verre dans des matrices cimentaires.

Le but de cette recherche est d'introduire les fibres de diss et la poudre de verre dans un béton ordinaire tout en assurant ses qualités mécaniques.

Nous avons décidé d'ajouter les dosages suivants :

Fibres de diss : 0,4, 0,8 et 1,2 Kg/m<sup>3</sup>.

Ceci pour bien mettre en évidence l'influence de ces fibres naturelles pour les différents dosages. Ensuite, le dosage optimal des fibres est fixé pour ajouter par la suite la poudre de verre en substituant une quantité de ciment (50 kg/m<sup>3</sup>).

Les résultats obtenus sur les bétons fibrés sont comparés avec les résultats du béton témoin (sans fibres) réalisé selon les mêmes dosages en ciment et eau.

Les caractéristiques que nous avons étudiées sont les suivantes :

- ✓ La maniabilité.
- ✓ La résistance à la compression.
- ✓ La résistance à la traction par flexion.

Cette recherche est basée sur trois chapitres. Dans le premier chapitre, une étude bibliographique et des recherches effectuées sur les bétons ordinaires, ces constituants et l'amélioration de ces propriétés. Il Ya aussi une partie biobibliographique pour la présentation des fibres et leur effet sur les bétons.

Le deuxième chapitre est appuyé sur la caractérisation des matériaux d'étude. Une détermination des caractéristiques physiques des matières premières (le sable, ciment, gravier, Poudre de verre et fibre de diss). Dans ce chapitre, on explique aussi la méthode de formulation des bétons.

Pour le troisième chapitre on donne une présentation des propriétés des bétons frais (maniabilité) et des caractéristiques mécanique des bétons d'étude (résistances à la compression et à la traction par flexion). Enfin, on termine par une conclusion générale qui comporte une synthèse des résultats de cette étude.

# ***CHAPITRE I***

## ***ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

## **1. HISTOIRE DU BETON**

Les Romains connaissaient déjà une forme de béton, mais son principe fut perdu jusqu'à sa redécouverte en 1756 par l'ingénieur britannique John Smeaton. Popularisé depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, notamment grâce à Louis Vicat en France, le béton de ciment est à l'heure actuelle, le matériau de construction le plus utilisé. Alors les lois du béton liant la résistance à la composition sont énoncées dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec en particulier l'ingénieur Féret, mais ne sont pas exploitées immédiatement. Jusqu'à la fin des années quarante, la formulation du béton était d'une grande simplicité : 800 litres de gravillons, 400 litres de sable, de 4 à 8 sacs de ciment et de l'eau en abondance, cette recette ne devait pas correspondre toujours exactement à un mètre cube, mais elle faisait prise et durcissait. Avec des coefficients de sécurité à la rupture de l'ordre de trois dans des ouvrages simples, les risques étaient minimes. Dans les années 1940, on sait que pour obtenir un béton, il faut minimiser le pourcentage de vides. M. Duriez précise ainsi qu'il convient d'aboutir à une ossature dont la surface spécifique soit minimale tout en donnant un béton qui, mis en place avec le dosage en ciment prescrit et le minimum d'eau nécessaire au mouillage de tous les grains, ciment compris, forme un ensemble homogène sans vide [1]. Dans les années 1980, on découvre le moyen de réduire ces vides avec l'ajout de microparticules et d'adjuvants de types plastifiants.

## **2. DEFINITION GENERALE DU BETON**

Le béton est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats naturels (sable, gravillons) ou artificiels (granulats légers) agglomérés par un liant. Ce liant est appelé couramment ciment ; on obtient dans ce cas un béton de ciment un des plus souvent utilisés. On peut optimiser la courbe granulaire du sable, auquel cas on parlera de béton de sable.

- Le béton frais associé de l'acier permet d'obtenir le béton armé, un matériau de construction courant.

- Le béton frais associé à des fibres permet d'obtenir des bétons fibrés.

- Pour le béton fibrés, c'est un matériau issu de l'alliance du ciment, granulas et fibres, possède des qualités exceptionnelles de : légèreté, d'isolation thermique, qui font de lui un matériau de choix pour la construction de logements, bâtiments industriels.

Les bétons avec fibres végétales rependent à certains critères qui favorisent leurs utilisations :

- La fibre végétale est une matière première renouvelable.
- Le béton fibré permet de d'utiliser des fibres végétales abondantes dans la nature.
- Le béton fibré est un matériau qui possède de bonnes caractéristiques mécaniques et thermiques. Les 4 ingrédients essentiels de tout béton sont le sable, la pierre concassée, le ciment et l'eau.

### **3. LES CONSTITUANTS DU BETON**

#### **3.1. Les granulats**

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels. Leur taille variable déterminera l'utilisation du béton (les gros granulats pour le gros œuvre, les très fin pour le béton sophistiqué). La résistance du béton augmente avec la variété des calibres mélangés. [2]

##### **3.1.1. Les granulats naturels**

Ils sont d'origine minéralogique, parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes et les granites. Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories qui doivent être conformes à la norme NF EN 12620 et la XP P 18-545 (granulats pour bétons) :

- **Les granulats alluvionnaires**, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.
- **Les granulats de carrière** sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, degré de concassage... La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.[3]

### **3.1.2. Les granulats artificiels**

- **Sous-produits industriels, concassés ou non :**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1250 kg/m<sup>3</sup> pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m<sup>3</sup> pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302.

- **Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :**

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires.

- **Granulats allégés par expansion ou frittage :**

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme les États-Unis, n'ont pas eu en France le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

- **Granulats très légers :**

Ils sont d'origine végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers, ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m<sup>3</sup>. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants. [3]

### **3.1.3. Classification des granulats**

Les granulats sont caractérisés du point de vue granulaire par leur classe d/D, respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. Si l'on se réfère à la norme XP P 18-545, devenue la norme européenne en vigueur depuis le 1er juin 2004, les trois seules désignations portant l'appellation de granulats sont :

**Les sables (0/D) :** granulat pour lequel la dimension la plus grande (D) est inférieure ou égale à 4 mm (dans la norme NF EN 13-242, le D peut aller jusqu'à 6mm).

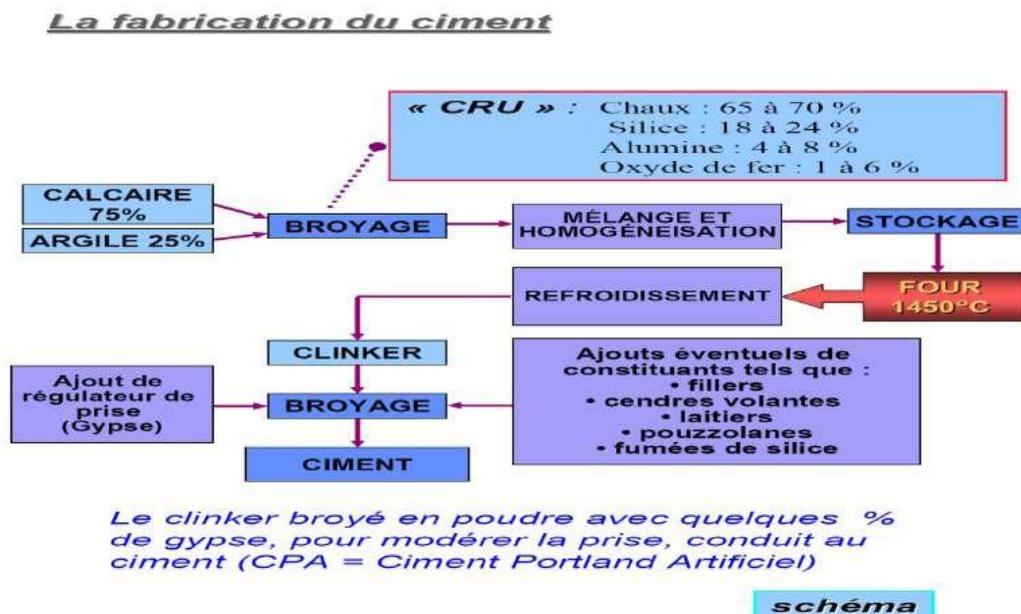
**Les graves (0/D) :** désigne tous les granulats dont la dimension la plus grande (D) est supérieure à la limite désignant les sables, c'est-à-dire supérieure à 4 mm (6mm dans la norme NF EN 13-242) et ce jusqu'à 90 mm. C'est un mélange de sables et de gravillons, voire de fillers.

**Les gravillons d/D :** granulat pour lequel la dimension la plus grande (D) ne doit pas être inférieure à 4 mm et la dimension la plus petite (d) supérieure ou égale à 2 mm.

### 3.2. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique qui, mélangé avec de l'eau, durci tant sous l'eau qu'à l'air, pour constituer une pierre artificielle. C'est le constituant qui assure la cohésion des autres constituants du béton à l'état frais, et la résistance après durcissement.

Le ciment Portland est un mélange composé suivant le cas de clinker, de gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) finement broyés et d'ajouts éventuels. La taille des grains du ciment Portland ordinaire varie de quelques microns. Ses caractéristiques granulaires sont exprimées au travers de sa granulométrie et de sa finesse. Cette finesse est souvent caractérisée par sa surface spécifique Blaine. Des ajouts, tels que les cendres volantes, les fillers, les laitiers, entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques. La fabrication du ciment est montrée dans le schéma suivant :



**Figure I.1 :** fabrication du ciment. [3]

Les ciments utilisés doivent être conformes aux normes. Ils peuvent avoir deux rôles essentiels : assurer la résistance du béton et combler les vides entre les grains.

Les étapes de fabrication du ciment sont :

- ✓ **Extraction** : des matières premières.
- ✓ **Concassage** : pour obtenir des fragments de 50 à 100 mm.
- ✓ **Préparation du cru** : c'est la réalisation du mélange homogène du calcaire et de l'argile.
- ✓ **Cuisson** : à une température de 1400 à 1500 °C.
- ✓ **Refroidissement** : brusque (de 1450 °C à 250 voire 50 °C).
- ✓ **Broyage** : pour réduire les grains du clinker en poudre. L'ajout des autres constituants se fait au cours du broyage.

Le tableau suivant montre la classification des ciments en fonction de leur composition :

**Tableau I.1** : classification des ciments en fonction de leur composition. [3]

Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en addition (laitier - pouzzolanes - cendres - calcaires - schistes - fumées de silice)	Teneur en constituants secondaires
Ciment Portland	95 à 100%		0 à 5%
Ciment Portland composé	80 à 94% 65 à 79%	6 à 20% * 21 à 35% *	0 à 5%
Ciment de haut-fourneau	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	36 à 65% de laitier. 66 à 80% de laitier. 81 à 95% de laitier.	0 à 5%
Ciment pouzzolanique	65 à 90% 45 à 64%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumée de silice * 36 à 55% mêmes additions.	0 à 5%
Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30% de laitier et de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. 31 à 50% mêmes additions.	0 à 5%
* est le pourcentage de la fumée de silice et des cendres siliceuses est limité à 10%			

On trouve aussi les ciments blancs, qui sont obtenus à partir de calcaire blanc, silice et alumine contenant très peu d'oxydes métalliques (tels que les oxydes de fer, de manganèse ou de chrome) susceptibles de colorer le produit. Le tableau suivant présente la classification des ciments en fonction de leur résistance nominale :

**Tableau I.2 :** classification des ciments en fonction de leur résistance.

<b>Résistance à la compression (en MPa)</b>				
<b>Désignation de la classe de résistance</b>	<b>Résistance à court terme</b>		<b>Résistance courante</b>	
	<b>à 2 jours</b>	<b>à 7 jours</b>	<b>à 28 jours</b>	
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10	-		
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	-		
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30	-		

Il existe aussi d'autres types de ciment :

- **Le ciment à maçonner :**

Il ne présente pas de bonnes caractéristiques, destiné à la confection des mortiers de maçonnerie ou d'enduits, et ne conviennent pas pour les bétons à contraintes élevées. Ce ciment ne doit pas être utilisé dans les milieux agressifs.

- **Le ciment alumineux fondu :**

Le ciment alumineux fondu (ou ciments d'aluminates de calcium) est un liant hydraulique qui résulte de la mouture, après cuisson jusqu'à la fusion, d'un mélange composé principalement d'alumine, de chaux, d'oxydes de fer et de silice, dans des proportions telles que le ciment obtenu renferme une masse d'alumine n'excédant pas 30 % de la masse de ciment.

- **Le ciment prompt naturel :**

Le ciment prompt naturel, à prise et durcissement rapides, résulte de la cuisson à température modérée, d'un calcaire argileux de composition régulière, extrait de bancs homogènes, suivie d'un broyage très fin. Le ciment prompt naturel est caractérisé par la présence de silicates de calcium, essentiellement sous forme de silicate bicalcique

actif, d'aluminate de calcium riche en alumine et de sulfo-aluminate de calcium qui est une spécificité du produit. [3]

### **3.2.1. L'hydratation du ciment**

Une fois mélangé avec l'eau, les réactions d'hydratation du ciment se développent, la poudre de ciment contient des constituants instables en présence d'eau, et donnent des hydrates stables en présence d'eau. Au début le silicate tricalcique se dissout pour former le mono-silicate de calcium hydraté, après un certain temps, la viscosité de la pâte augmente brusquement, c'est le début de prise, due à l'interpénétration des cristaux.

Dès la fin de prise (qui correspond à l'instant où la pâte cesse d'être déformable) la pâte commence à acquérir une résistance mécanique qui se développe avec le temps, c'est le phénomène de durcissement. La réaction d'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

### **3.3. Eau de gâchage**

L'eau entrant dans la composition du béton ne doit pas contenir d'éléments nuisibles et d'impuretés en quantités telles qu'ils pourraient porter préjudice à la prise, au durcissement et à la durabilité du béton ou provoquer une corrosion des armatures. Les eaux potables fournies par un réseau public de distribution conviennent à tous les types de béton.

Les eaux de rinçage et de recyclage d'installation du bétonnage sont habituellement utilisables : leur aptitude est à vérifier pour certains bétons.

Les eaux de ruissellement, les eaux pompées dans la nappe phréatique, les eaux de rejets industriels doivent subir un essai de convenance (NF P 18-303). L'eau de mer, les eaux saumâtres peuvent être utilisées pour du béton non armé uniquement.

Les eaux usées et les eaux vannes ne conviennent pas. On peut ajouter au béton ordinaire des adjuvants et des additions minérales pour améliorer les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

### **3.4. L'adjuvant**

Produit ajouté en très faible quantité aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment), ils sont ajoutés avant ou pendant le malaxage, dans le but d'améliorer certaines propriétés :

- soit à l'état frais.

- soit pendant la prise et le durcissement.
- soit à l'état durci.

Ce sont des substances chimiques organiques ou inorganiques qui, ajoutées aux bétons, mortiers, ou coulis, modifient :

- ✓ la rhéologie.
- ✓ la cinétique d'hydratation (temps de prise et de durcissement).
- ✓ les performances mécaniques.

On peut classer les adjuvants en trois critères :

- **Ceux qui agissent sur l'ouvrabilité :** plastifiants, réducteurs d'eau, Super plastifiants, fluidifiant.
- **Ceux qui agissent sur la prise et le durcissement :** accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise, antigel.
- **Ceux qui agissent sur les autres propriétés :** entraîneurs d'air, générateurs de gaz, Hydrofuge.[3]

### **3.5. Quelques additions peuvent être ajoutées dans le béton**

#### **3.5.1. Laitier de haut fourneau**

C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte dans le haut fourneau. Pour un haut fourneau fonctionnant avec des minerais de fer riches, on atteint généralement une proportion 317 kg de laitier actuellement pour 1 tonne de fonte produite. La composition typique du laitier de fonte est de 40% de chaux, 35% de silice, 11% d'alumine et 8% de magnésie.



**Figure I.2 :** laitier cristallisé et granulé. [3]

Pour le sidérurgiste, le laitier est un stérile, dont la valorisation, quoique non négligeable, est souvent moins intéressante que celle de la fonte. Le laitier de haut fourneau est souvent valorisé dans la fabrication de ciment et dans les travaux publics.

### **3.5.2. Fillers calcaires**

Ce sont des farines de roche (calcaire ou siliceuse) obtenues par broyage. Les roches dures, comme le quartz, ont tendance à produire des particules plus anguleuses, dont la demande en eau est supérieure à celle des fillers calcaires, d'usage plus courant dans les bétons. Même si le rôle principal des fillers est celui de charge minérale, ils présentent cependant une certaine activité physico-chimique. Ils jouent tout d'abord un rôle de site de nucléation hétérogène vis-à-vis de l'hydratation du clinker, qu'ils accélèrent. Cet effet n'est cependant notable qu'au jeune âge.[4]



**Figure I.3 :** fillers calcaires.

### **3.5.3.Cendre volante**

Les cendres volantes sont des fines particules recueillies lors du dépoussiérage des gaz résultant de la combustion du charbon pulvérisé, utilisé dans les centrales thermiques. Leur composition est en relation avec les différents types de matières incombustibles présentes dans le charbon. D'une façon générale, les éléments présents sont : le silicium, l'aluminium le fer, le calcium et le magnésium. L'intérêt des cendres volantes réside dans la faculté qu'elles possèdent à réagir avec l'hydroxyde de calcium pour former des silicates de calcium hydratés qui ont des propriétés pouzzolaniques et hydrauliques [5].



**Figure I.4** : cendre volante.

#### **3.5.4.Fumée de silice**

Les fumées de silice sont formées de particules ultrafines (quelques micromètres), présentant une très forte teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz par du charbon dans des fours électriques utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferroélectrique. Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques. Donc pour certains auteurs, elles augmentent les valeurs de seuil et de viscosité en augmentant la compacité des mélanges, alors que pour Carlswald, les fumées de silices ne modifient pas la viscosité.[6]



**Figure I.5** :fumée de silice.

#### **3.5.5.Poudre de verre**

C'est un produit novateur, qui consiste en une poudre de verre dont la finesse est similaire à celle du ciment, composés d'oxydes formateurs, fondants, stabilisants et colorants.

L'ingrédient de base est la silice ( $\text{SiO}_2$ ) qui représente environ 68 à 74% de la masse et constitue l'élément formateur. Les fondants et les stabilisants sont constitués par ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ). La couleur du verre est obtenue en additionnant aux crues, certains oxydes Métalliques. Ainsi, le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  donne la couleur brune, le  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  la couleur verte, le  $\text{CuO}$  la couleur bleue, le  $\text{MnO}_2$  la couleur rose, et le  $\text{AgO}$  la couleur jaune. Leur emploi dans le verre permet de diminuer la température de fusion et d'augmenter la durée de travail du verre lors

du façonnage. Les proportions entre ces trois constituants vont dépendre en grande partie les caractéristiques d'un verre. On obtient par fusion entre 1400°C et 1500°C une masse visqueuse, amorphe, homogène et transparente, le verre.

Du fait de sa nature vitreuse et du contenu de certaines quantités relativement appréciables de silice, le verre est considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé [7]. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons. Différentes études ont pu montrer que la couleur du verre, autrement dit sa composition chimique, joue un rôle conséquent sur les propriétés mécaniques de ce dernier.

Les additions minérales présentent plusieurs avantages pour le béton :

- Améliore les performances mécaniques à longs termes : résistances en compression, traction.
- Augmente le module d'élasticité.
- Réduit le fluage.
- Améliore la résistance à l'abrasion et à l'érosion.
- Améliore la durabilité en milieux agressifs.
- Diminue les risques d'expansion dus aux phénomènes d'alcali-réaction.
- Diminue la perméabilité aux gaz et aux liquides.
- Facilite le pompage de tous les bétons mêmes peu dosés en ciment.
- Augmentation de la résistance du béton par diminution de la porosité du béton frais.
- Réduire le coût final du ciment.
- Limitation du ressuage. [8]

## **4. LA MISE EN ŒUVRE DU BETON**

### **4.1.Le malaxage**

L'un des critères les plus importants qui influent sur la qualité d'un béton est son homogénéité, c'est-à-dire sa faculté d'avoir la même composition en tous points, il faut donc assurer une imbrication des granulats les un par rapport aux autres la plus parfaite possible. Pour cela, il est nécessaire d'avoir les moyens mécaniques permettant les déplacements des constituants et en particulier des granulats, sans que ceux-ci entraînent une ségrégation soit à cause de la différence des tailles ou des densités, l'homogénéisation des constituants est réalisée dans des mélangeurs. Il en existe deux types : les bétonnières qui homogénéisent par gravité et les malaxeurs qui travaillent par brassage forcé.

#### **4.2.Le transport**

Durant son transport, le béton doit conserver ses caractéristiques d'homogénéité et sa morphologie. Il est assuré par plusieurs méthodes : brouettes, wagonnets, jets de pelle, bennes, goulottes inclinées, pompes, tapis roulants, et pour le transport d'une usine à un chantier le transport se fait par camions à bennes rotatives.

#### **4.3.La vibration**

Après mise en place du béton, il nécessite un bon arrangement des grains, pour optimiser sa compacité et donc améliorer ses caractéristiques mécaniques et sa durabilité, ceci n'est possible qu'avec un moyen de serrage, qui est généralement des vibrateurs. L'effet de la vibration se résume par la liquéfaction du béton autour de la zone d'action du vibreur, ce qui réduit les frottements internes des grains et permet un remplissage parfait des moules. La durée de vibration doit être suffisante pour assurer le meilleur serrage, une vibration courte n'élimine pas les vides et donc peut conduire à l'obtention d'un béton à mauvaise compacité et résistance, et aussi des parements présentant des poches d'air et des nids de cailloux. Une vibration prolongée au-delà du temps nécessaire provoque un début de ségrégation.

### **5. LA FORMULATION DU BETON**

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- la méthode de Baron.
- la méthode de Bolomey.
- la méthode de Féret.
- la méthode de Faury.
- la méthode de Dreux-Gorisse.

La formulation d'un béton doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins contraignante vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée dans la formule. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la

recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats [9].

D'autres exigences de la norme NF EN 206-1 imposent l'emploi de ciment particuliers en raison de milieux plus ou moins agressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que ce soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, ....etc.

## **6. LES PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LA FORMULATION DU BETON**

### **6.1. Influence du rapport E/C**

Le rapport Eau/Ciment n'a pas d'importance économique, mais en raisonnant en caractéristiques, ce rapport est très important, car il influe directement sur la maniabilité, un béton est de plus en plus facile à mettre en œuvre lorsqu'on augmente la quantité d'eau, et aussi sur la résistance et la durabilité, qui sont améliorées en diminuant ce rapport.

### **6.2. Influence de la quantité de ciment**

Le ciment est le constituant le plus important qui assure la cohésion et la résistance du mélange. L'augmentation du dosage en ciment améliore la résistance du béton, mais aussi augmente le risque de retrait et provoque des fissurations et par conséquent des chutes de résistance et affecte la durabilité. En point de vue coût, un béton est le plus économique lorsque le dosage en ciment est minimal, puisque le ciment est le constituant le plus cher. Donc le dosage minimum assurant la résistance souhaitée est recommandé.

### **6.3. Influence du rapport G/S**

Le rapport G/S est très importante en point de vue caractéristique, l'augmentation de la quantité de gravillon conduit à une diminution de la maniabilité, mais augmente la résistance. Le rapport G/S optimum est celui assurant une bonne ouvrabilité tout en conservant une résistance acceptable.

### **6.4. Influence de la granulométrie**

Les granulats participent dans l'amélioration de la compacité du mélange, et par conséquent la résistance et la durabilité. La granulométrie doit être répartie de façon que les grains les plus fins remplissent les vides entre les plus gros grains.

### **6.5. Influence des adjuvants**

Les plastifiants jouent un double rôle. Ils permettent, d'une part, d'obtenir des bétons frais très maniables, par défloculation des grains de ciment. A maniabilité donnée, ils offrent, d'autre part, la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton. La résistance du béton durci peut ainsi être notablement augmentée. La durée d'action de ces adjuvants est de 1 à 3 heures. L'utilisation de ces produits augmente le cout des bétons, mais cette augmentation peut être compensée par la facilité de mise en œuvre qu'ils offrent, en réduisant les efforts et les couts de compactage.

## **7. AMELIORATION DES PROPRIETES DES BETONS**

Certaines études ont été effectuées afin d'éliminer les inconvénients du béton ordinaire.

- ✓ **Ajouter des additions minérales** : pour améliorer la compacité et la résistance mécanique des bétons.
- ✓ **Ajouter des adjuvants** : pour augmenter la fluidité des mélanges.
- ✓ **Ajouter des fibres** : pour améliorer la ductilité du matériau ainsi la résistance à la compression et à la traction par flexion.

## **8. LES FIBRES**

### **8.1. Différents types de fibres**

L'introduction des fibres dans le béton entraîne une amélioration des caractéristiques mécaniques à l'état durci. Les fibres utilisées dans la fabrication des bétons sont classées en quatre grandes familles selon leur nature et leur propriété mécanique :

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

Les fibres présentent des caractéristiques et des propriétés différentes : forme des fibres (plate, ondulée...), état de surface (lisse, rugueuse...), dimensions (diamètre, longueur...) et l'adhérence qui garantissent des caractéristiques mécaniques spécifiques aux ouvrages renforcés de fibres.



Figure I.6.Exemples des fibres d'acier, de carbone et de polypropylène.

### 8.2.Propriétés générales des fibres

Les fabricants n'arrêtent pas d'améliorer les qualités et les caractéristiques des fibres en les modifiant pour augmenter leur ténacité, en diminuant ou agrandissant leurs extrémités pour rendre leur capacité d'ancrage plus efficace.

Le tableau 3 présente certaines caractéristiques physico-mécaniques des fibres utilisées dans le domaine des ouvrages d'art.

Tableau 3.Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [10].

Fibres	Diamètre (µm)	Densité (g/m <sup>3</sup> )	Résistance à la traction (GPa)	Allongement de rupture (%)
Acier	5-500	7,8	1-3	3-4
Verre	5-20	2,6	1,5-3	80
Polypropylène	10-200	0,9	0,4-0,7	15-25
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	3	2,3
Carbone	5-9	1,7-2	2-3	0,5-1,5

### 8.3.Les fibres végétales

Les fibres naturelles d'origine végétale ont été utilisées pour la fabrication des briques renforcées par la paille. Dans les années 1970, le plâtre était le premier liant utilisé avec les fibres végétales. Le plâtre renforcé de fibres végétales a permis de réaliser plusieurs ouvrages [11].

Actuellement le renforcement de béton par des fibres végétales est réalisé avec des méthodes récentes. Suite aux problèmes de santé causés par les fibres d'amiante, plusieurs études sont dirigées vers le remplacement de celles-ci par des fibres naturelles (végétales).

Les filières textile et automobile utilisent beaucoup les fibres naturelles d'origine végétale. Ces fibres présentent des avantages économiques et écologiques mais leur introduction dans le domaine du bâtiment demeure timide surtout en Europe. Par contre au Canada et au Japon elles sont très utilisées [12].

Les fibres végétales les plus utilisées sont la paille, le chanvre, le lin, le sisal et le bambou(figure 7). Ces fibres ont une structure creuse composée principalement de cellulose

et possèdent une propriété très hydrophile. Les fibres végétales absorbent l'eau et ce caractère est très important en raison de la méthode de confection des bétons.



**Figure I.7.**Exemples des fibres végétales [13]

#### **8.4. Classification des fibres végétales**

Suivant l'origine des fibres végétales, on peut citer : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

##### **8.4.1. Les fibres de feuilles**

Elles sont obtenues à cause d'un rejet des plantes. Ces fibres sont faites par chevauchement de paquet qui enferme toutes les feuilles afin de rendre les fibres rigides et résistantes.

La fibre de feuille la plus utilisée est la fibre de sisal [14]. Certains chercheurs ont constaté que ce type de fibre améliore les caractéristiques mécaniques de la matrice cimentaire.

##### **8.4.2. Les fibres de tiges**

Ces fibres sont obtenues dans les tiges des plantes. Elles possèdent une bonne rigidité. Ces fibres sont distribuées sous forme de paquet de cor, puis séparées grâce à un processus spécial. Les fibres de tige sont utilisées pour le renforcement des bétons et la fabrication de textile et des cordes. Parmi ces fibres, on trouve : les fibres de jute, de lin et de chanvre [15].

##### **8.4.3. Les fibres de bois**

Ces fibres sont courtes, elles sont obtenues grâce à un broyage des arbres comme le bambou.

##### **8.4.4. Les fibres de surface**

Généralement, les fibres de surface se trouvent sur la surface de la tige des fruits, on peut citer : le coton et la noix de coco. La résistance à la flexion du ciment a été améliorée grâce à l'incorporation des fibres de coco [16].

#### **8.5. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales**

Les chercheurs [17] ont montré les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales présentées sur le tableau 4.

**Tableau I. 4.** Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.

<b>Fibres</b>	<b>Densité (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Allongement à la rupture (%)</b>	<b>Résistance à la traction (MPa)</b>
Cotton	1,5-1,6	7,0-8,0	587-597
Jute	1,3	1,5-1,8	393-773
Lin	-	2,7-3,2	345-1035
Chanvre	-	1,6	690
Sisal	1,5	2,6	278
Noix de coco	1,2	30	175

Les chercheurs [16] ont enregistré que la résistance à la traction des fibres végétales est relative à leur teneur en cellulose.

### **8.6. Caractéristiques chimiques des fibres végétales**

Les fibres végétales ont une composition chimique basée sur trois constituants : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [16].

#### **8.6.1. Cellulose**

La cellulose est la principale composante de la fibre végétale. C'est un polymère naturel et les fibres végétales sont formées par une chaîne de fibres en cellulose.

#### **8.6.2. Hémicellulose**

L'hémicellulose se trouve dans toutes les parois des fibres végétales. Ce constituant permet aux parois des fibres de s'allonger durant la croissance. Ce glucide complexe est responsable de l'élasticité des fibres.

#### **8.6.3. Lignine**

Elle représente la colle qui garantit la liaison entre les fibres végétales. C'est un polymère tridimensionnel.

Le tableau I.5 résume la composition chimique des fibres végétales reproduit selon [12].

**Tableau I.5.** Composition chimique de quelques fibres végétales.

<b>Fibres</b>	<b>Composition (%)</b>			
	<b>Cendre</b>	<b>Cellulose</b>	<b>Hémicellulose</b>	<b>Lignine</b>
Noix de coco	1,44	32-43	0,15-0,25	40-45
Sisal	1,13	66-72	12	10-14
Jute	7,6	63	-	-
Palmier dattier	1,2	41-45	6-10	30-40

### **8.7. Rôle des fibres**

Les chercheurs ont commencé par introduire les fibres pour améliorer les propriétés mécaniques du béton comme la résistance à la traction par flexion, cependant le résultat obtenu était limité [18].

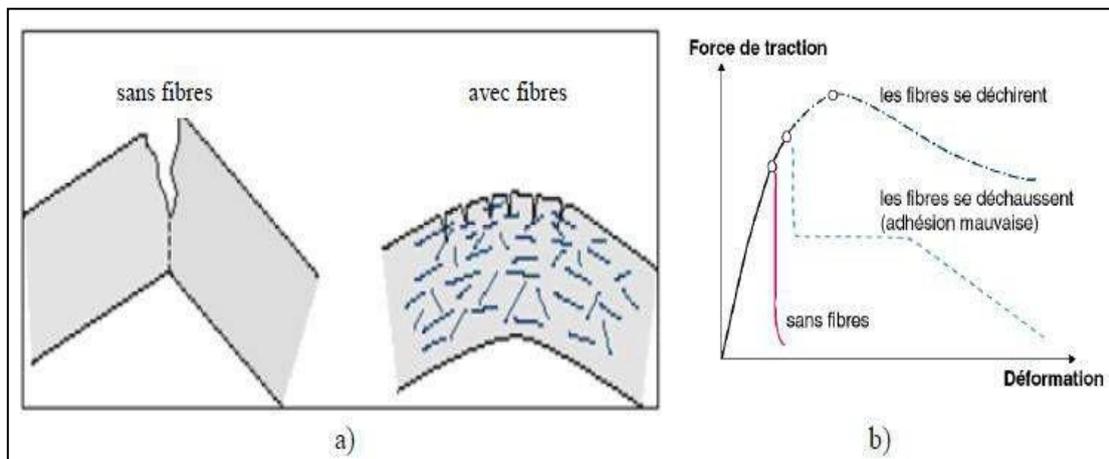
Les fibres ont un rôle essentiel dans le béton, il est présenté sous deux volets :

- Diminuer l'ouverture des fissures pour contrôler la propagation d'une fissure dans un béton en état de service, ce phénomène est présenté par la figure 8.a.

- Augmenter la sécurité du matériau lors des états de chargement ultimes par le changement du comportement fragile d'un béton en un comportement ductile (figure I.8.b).

Généralement les fibres sont utilisées pour consolider la structure du béton en s'opposant à la croissance des fissures et à leur propagation. Selon le type de l'ouvrage et la nature du béton, les fibres présentent plusieurs avantages :

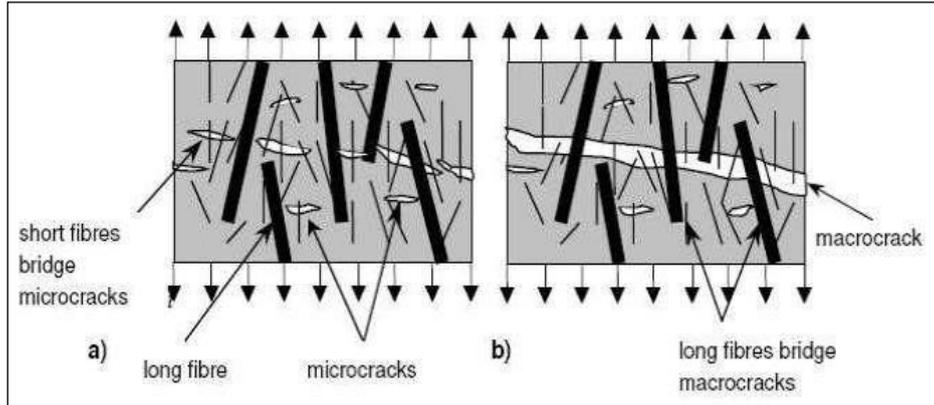
- Amélioration de l'adhérence du béton frais, les fibres rigides modifient la structure du squelette granulaire.
- Diminution de la microfissuration due aux variations dimensionnelles surtout au jeune âge.
- Diminution de la fissuration provoquée par une charge extérieure.
- Augmentation de la ductilité et la résistance à la traction.
- Augmentation de la résistance aux chocs et à la fatigue.
- 



### 8.7.1. Processus de couture des fissures

D'après [20], l'objectif d'utilisation des fibres est d'améliorer la résistance à la traction et la ténacité des matériaux, mais pour [21], les fibres sont ajoutées non pas dans le but d'augmenter la résistance à la traction, mais surtout pour limiter la fissuration et modifier le comportement du béton fissuré (figure I.9).

La force de traction entraîne la formation des fissures qui se développent dans le béton et les fibres peuvent les couvrir, ce qui se traduit par la diminution de l'ouverture des fissures et retarder ainsi leur propagation. Durant l'ouverture des fissures, les fibres ont la possibilité de se déformer ou glisser suivant leur nature, leur surface et leur géométrie.



**Figure I.9.**Processus de couture : a) Influence des fibres courtes dans le processus de couture des microfissures, b) Influence des fibres longues dans le processus de couture des macrofissures [21].

## 9. BETONS FIBRÉS

Les fibres donnent des résultats remarquables surtout au niveau des caractéristiques mécaniques des bétons, mais leur introduction dans le mélange peut entraîner des pertes d'ouvrabilité et une mauvaise répartition des fibres.

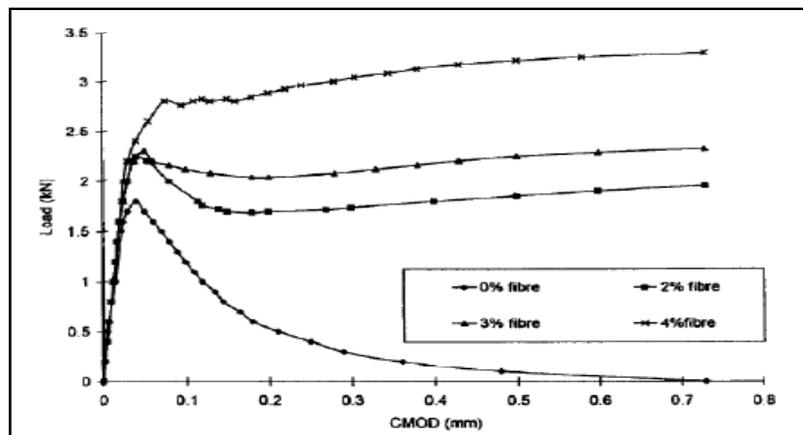
### 9.1. Comportement mécanique des bétons fibrés

La résistance à la traction, à la flexion et à la compression sont des caractéristiques mécaniques qui permettent de définir le comportement d'un béton durci. L'ouverture des fissures est influencée par les fibres, alors la rigidité et la ténacité d'un matériau dépendent du dosage et de la nature des fibres utilisées.

### 9.2. Comportement à la compression et à la traction

Le comportement en compression n'est que peu influencé par la présence des fibres. Les fissures créées ne permettent pas aux fibres d'être sollicitées suffisamment pour améliorer significativement le comportement du béton.

L'étude du comportement en traction par flexion permet de mieux mettre en évidence l'effet d'un renfort de fibres via le gradient de déformation. L'addition de fibres entraîne une augmentation de résistances et une augmentation de la ductilité (Figure I.10).



**Figure I.10:**Comportement en traction directe en fonction du pourcentage en fibres métalliques [22]

L'augmentation de la résistance en traction est due à liaisons créées par les fibres placées stratégiquement. Lorsque les résistances résiduelles sont supérieures à la résistance au pic, on dit que le béton a un comportement ductile durcissant. Le processus de rupture se développe lors de la perte de ces liaisons ou de la rupture de ces dernières. Ce phénomène est fonction de la forme, de la taille des fibres et de leur adhérence à la matrice cimentaire [22].

Néanmoins, le comportement des bétons renforcés de fibres, dépend fortement du type de fibres choisi, de leur géométrie, de leur distribution et de leur orientation, ainsi que de la compacité du béton qui les contient.

## **10. CONCLUSION**

Dans cette étude bibliographique, notre but était de définir le béton ordinaire, ses constituants essentiels et les différentes méthodes de sa formulation.

Nous présentons aussi dans cette recherche les différents types de fibres et additions qui peuvent être ajouté dans le béton.

Généralement le béton ordinaire est un matériau hétérogène, ce qui se traduit par des résistances mal à la traction, alors pour éliminer ce défaut il est nécessaire d'ajouter au béton des fibres et des additions minérales.

Donc pour notre recherche nous avons choisis des fibres végétales de Diss afin d'améliorer les propriétés des bétons a l'état durci. Mais il est nécessaire d'effectué des traitements sur ces fibres.

***CHAPITRE II***  
***CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET***  
***FORMULATION***

## **1. INTRODUCTION**

Dans ce chapitre nous allons exposer les caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton.

Dans cette recherche nous avons étudié l'influence du dosage des fibres de diss et la poudre de verre sur les caractéristiques du béton à l'état frais et durci. D'abord, on a commencé par la formulation d'un béton témoin sans fibres, ensuite on a cherché le dosage optimum à ajouter afin d'étudier par la suite, l'effet de la poudre de verre.

## **2. ESSAIS DE CARACTERISATION DES MATERIAUX**

### **2.1. Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs. Par exemple pour le sable de dune, on utilisera en général les tamis : (5, 3.15, 2.5, 2, 1.25, 0.63, 0.315, 0.2, 0.125, 0.08 mm).

1. Verser l'échantillon, lavé et séché, dans la colonne des tamis classés de haut en bas dans l'ordre de maille décroissante.
2. Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre et agiter un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adoptant un fond et un couvercle. Le tamisage est considéré terminé lorsque le refus ne se modifie pas de plus de 1% en 1 minute de tamisage
3. Peser le refus dans chaque tamis, et le cumul avec les précédents.
4. Peser le matériau restant dans le fond (le tamisât du dernier tamis).

### **2.2. Module de finesse**

La norme XP P 18-540 définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le  $\frac{1}{100}$  de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm).

### **2.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)**

5. Verser la solution lavante (eau) dans l'éprouvette (tube en verre normalisé).
6. Ajouter 120 g de sable sec et laisser reposer 10 minutes.
7. Boucher l'éprouvette, et la fixer sur la machine d'agitation pour subir 90 cycles en 30 secondes.

8. Remettre l'éprouvette en position verticale et rincer ses parois avec la solution lavante.
9. Laisser reposer sans perturbation pendant 20 minutes, puis mesurer la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat, et la hauteur  $h_2$  de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.
10. L'équivalent de sable visuel est donné par la formule :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100\%$$

#### **2.4. La masse volumique apparente**

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3.

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ g/cm}^3$$

M – masse de l'échantillon à l'état sec en g  
V – volume de l'échantillon en  $\text{cm}^3$



**Figure II .1 :** Essai de la masse volumique apparente.

#### **2.5. La masse volumique absolue**

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3.

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans l'eau, si la matière est inerte, comme le filler de calcaire.

### **3. MATERIAUX UTILISES**

#### **3.1.Le ciment**

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment portland composé de classe CPJ 42.5 fabriqué par la cimenterie de Hdjar Essoud. Avec une composition chimique donnée dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : composition chimique du ciment.

<b>CaO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>P.A.F</b>
58.59	6.58	24.92	3.65	1.21	0.08	0.85	0.02	2.17	1.70

**Tableau II.2** : caractéristiques physiques du ciment.

Désignations	valeurs	Unités
- Densité apparente	1046	(kg/m <sup>3</sup> )
- Densité absolue	3100	(kg/m <sup>3</sup> )

#### **3.2.L'eau**

L'eau potable sert de référence pour la formulation du béton à cause de sa disponibilité (distribuée par les services publics). L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques). Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton.

Dans cette étude, on a utilisée l'eau potable de robinet de la ville d'Annaba.

#### **3.3.Les granulats**

##### **3.3.1.Sable**

On a utilisé un sable naturel de forme roulé avec un module de finesse de 1,77 et un équivalent de sable de 84%. Alors, c'est un sable fin et propre.

L'analyse granulométrique du sable est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau II.3 :** Analyse granulométrique du sable.

<b>Tamis</b>	<b>Mi (g)</b>	<b>a i (%)</b>	<b>Ai</b>	<b>Tamisât (%)</b>
<b>5</b>	0	0	0	<b>100</b>
<b>3.15</b>	3,1	0,31	0,31	<b>99,69</b>
<b>2</b>	16,6	1,66	1,97	<b>98,03</b>
<b>1,25</b>	63,7	6,37	8,34	<b>91,66</b>
<b>0,8</b>	67,5	6,75	15,09	<b>84,91</b>
<b>0,5</b>	116	11,6	26,69	<b>73,31</b>
<b>0.315</b>	325,9	32,59	59,28	<b>40,72</b>
<b>0.2</b>	226,3	22,63	81,91	<b>18,09</b>
<b>0.125</b>	89,3	8,93	90,84	<b>9,16</b>
<b>0.08</b>	41	4,1	94,94	<b>5,06</b>
<b>fond</b>	50	5	99,94	<b>0,06</b>

### **3.3.2.Gravier 3/8**

Dans cette étude on a utilisé un gravier concassé. Il présente une granulométrie continue.

**Tableau .II.4 :** Analyse granulométrique du gravier 3/8.

<b>Tamis</b>	<b>Mi (g)</b>	<b>a i (%)</b>	<b>Ai</b>	<b>Tamisât (%)</b>
<b>8</b>	3,2	0,16	0,16	<b>99,84</b>
<b>6,3</b>	314,5	15,72	15,88	<b>84,12</b>
<b>5</b>	526,7	26,33	42,21	<b>57,79</b>
<b>4</b>	665,2	33,26	75,47	<b>24,53</b>
<b>3,15</b>	386,1	19,3	94,77	<b>5,23</b>
<b>2,5</b>	99,1	4,95	99,72	<b>0,28</b>
<b>perte</b>	5,2			

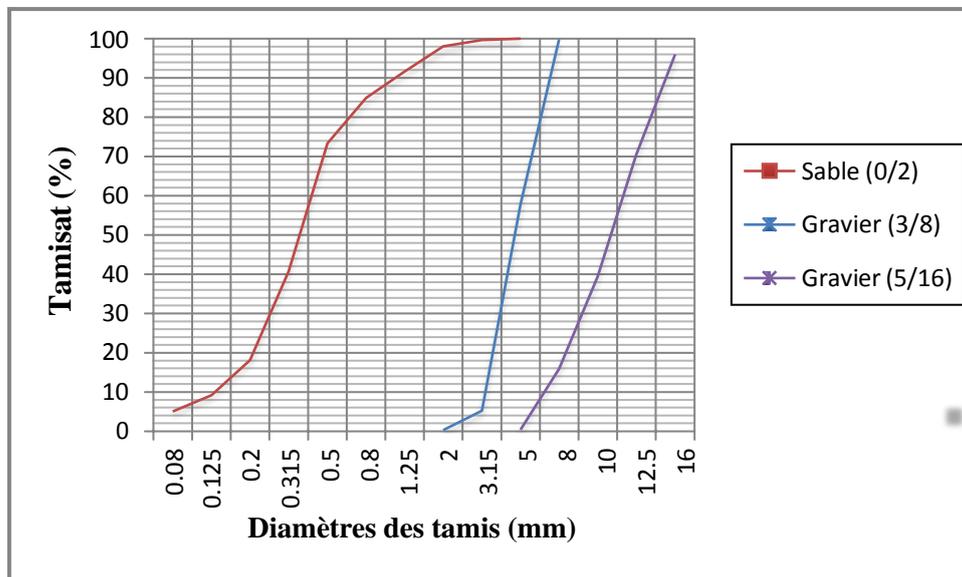
### **3.3.3.Gravier 8/16**

Le gravier utilisé dans cette étude est un granulats concassé, de roche calcaire, provient de la même compagnie locale du gravillon 3/8. Il présente une granulométrie continue.

**Tableau II.5 :** Analyse granulométrique du gravier 8/16.

Tamis	Mi (g)	a i (%)	Ai	Tamisât (%)
<b>16</b>	91,1	4,55	4,55	<b>95,45</b>
<b>12</b>	499,7	24,98	29,53	<b>70,47</b>
<b>10</b>	621	31,05	60,58	<b>39,42</b>
<b>8</b>	469,9	23,49	84,07	<b>15,93</b>
<b>5</b>	310,5	15,52	99,59	<b>0,41</b>
<b>perte</b>	7,8			

Les courbes granulométriques des granulats sont représentées dans la figure suivante :



**Figure II.2 :** Courbes granulométriques des granulats.

Les principales caractéristiques des granulats sont données dans le tableau suivant :

**Tableau II.6:** Caractéristique des granulats.

Caractéristiques	Sable roulé	Gravillon concassé	Gravier concassé	Unités
- Masse volumique apparente	1380	1390	1360	(kg/m <sup>3</sup> )
- Masse volumique absolue	2600	2550	2600	(kg/m <sup>3</sup> )
- Module de finesse	1,77	-	-	-
- Équivalent de sable	84	-	-	(%)
- d/D	0/2	3/8	8/16	-

### **3.4.Poudre de verre**

La poudre de verre est obtenue par le concassage et le broyage des bouteilles en verre dispersées dans la rue et les montagnes (figure II.3). Ces bouteilles sont lavées avant la procédure de concassage pour éliminer les traces de papier.

La valorisation du verre de bouteilles dans les bétons pourrait constituer une alternative intéressante, sur le plan environnemental, en évitant sa mise en décharge. Cependant, sur le plan technique les verres de bouteilles contiennent des quantités importantes d'alcalins pouvant entraîner des effets préjudiciables sur le béton en relation avec les réactions alcali-granulats [23].



**Figure II.3** : bouteilles de verre.

La composition chimique et les propriétés physiques de la poudre de verre sont présentées dans les tableaux suivants :

**Tableau II.7** : composition chimique de la poudre de verre [23]

<b>CaO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>P.A.F</b>
9,29	1,34	69,20	1,15	1,81	15,60	0,26	0,016	0,01	0,30

**Tableau II.8** : caractéristiques physiques de la poudre de verre .

Désignations	valeurs	Unités
- Densité apparente	920	(kg/m <sup>3</sup> )
- Densité absolue	2450	(kg/m <sup>3</sup> )

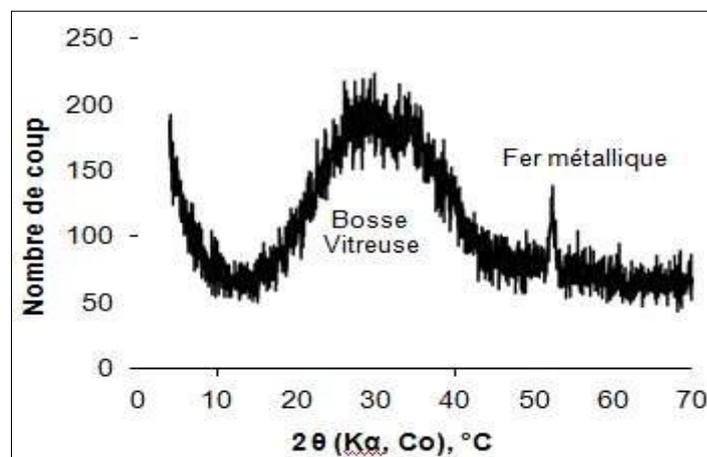


**Figure II.4 :** verre après concassage.



**Figure II.5 :** poudre de verre après broyage.

L'analyse aux rayons X montre que le verre est un matériau vitreux et contient aussi une faible quantité de fer (figure II.6).



**Figure II.6 :** Diffractogramme du verre [23].

### **3.5.Fibre de diss**

Le diss est une plante répandue à l'état sauvage dans plusieurs régions de l'Algérie (figure II.7). Localement appelé « diss », son nom scientifique est **l'ampéloidesmos mauritanicus**.

Cette plante était utilisée dans la réalisation d'habitats ruraux anciens en terre armée de diss. Le contour de la fibre de diss n'est pas lisse et présente des aspérités ainsi qu'une remarquable rugosité. Cependant, comme toutes les autres fibres végétales, La fibre de diss présente aussi une absorption d'eau très importante en raison de sa structure poreuse et l'argue des substances ayant pour effet de retarder la prise du ciment [24] et [25].



**Figure II.7 :** Fibre de diss après concassage et découpage.

#### **3.5.1.Traitement des fibres de diss**

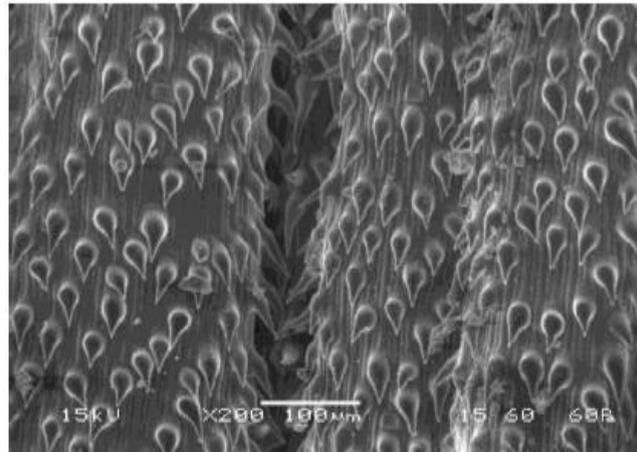
Afin de rechercher quelques améliorations sur certaines caractéristiques des composites étudiées, nous avons pensé à traiter les fibres de diss avant de les incorporer dans le béton. Ce traitement n'affecte pas la surface de la fibre, il consiste à broyer et à faire bouillir les fibres de diss dans l'eau pendant trois heures. Elles sont ensuite rincées et séchées avant leur utilisation, permettant d'éliminer des substances organiques ayant pour effet de retarder la prise et le durcissement du ciment et de provoquer une mauvaise liaison entre la fibre et la matrice cimentaire [24] et [25].

**Tableau II.9 :** Essais de prise sur différents mélanges.

<b>Mélanges</b>	<b>Début de prise</b>	<b>Fin de prise</b>
Ciment + eau distillée	2h23min	5h10min
Ciment + eau du robinet	2h38min	5h40min
Ciment + eau d'extraction du diss bouilli	3h26min	7h00min

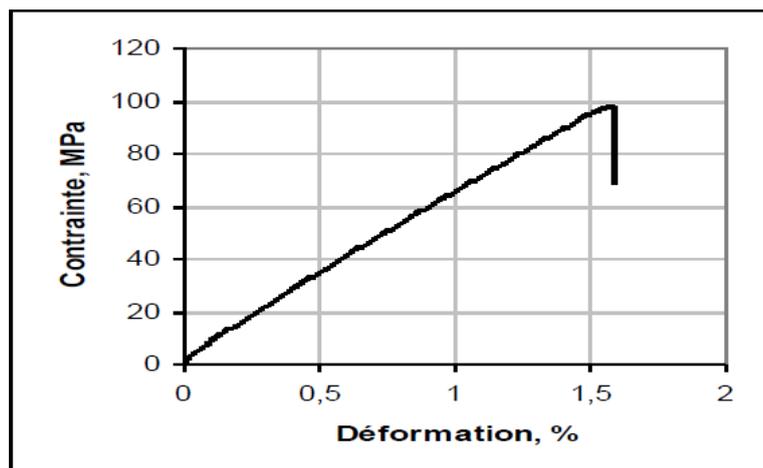
**3.5.2. Microstructure et caractéristiques des fibres de diss**

L'observation de la fibre de diss au MEB, montre que son contour n'est pas lisse et sa surface contient des épines qui jouent un rôle très important, pouvant améliorer l'adhérence à la matrice cimentaire (figure II.8). Il faut signaler que ces fibres garantissent les meilleurs résultats de point de vue de résistance à la traction [24] et [25], c'est pour cette raison que notre choix s'est porté sur ces fibres.



**Figure II.8 :** Surface de la fibre de diss [25]

La figure II.9 présente le comportement de la fibre en traction directe. La courbe (contrainte – déformation) de traction montre que la fibre de diss a une résistance de 100MPa.



**Figure II.9 :** Courbe contrainte - déformation de la fibre de diss [25]

Les principales propriétés physiques et mécaniques de ces fibres sont données au tableau suivant :

**Tableau II.10.** Caractéristiques des fibres de diss[25]

Désignation	Valeurs	Unités
- Longueur	12	mm
- Largeur	1 à 1,2	mm
- Épaisseur	0,2 à 0,4	mm
- Densité	1,23	g/cm <sup>3</sup>
- Résistance à la traction	100	MPa
- Module d'élasticité	6690	MPa
- Absorption d'eau après 24h		
✓ Non traitée (à l'état brut)	88	%
✓ Traitée à l'eau bouillante	82	%

#### **4. FORMULATION DU BETON PAR LA METHODE DE DREUX-GORISSE**

- Données de base :

$f_{c28} = 25\text{MPa}$ ,  $\sigma_{c28} = 46\text{MPa}$ ,  $\rho_{c\text{ abs}} = 3,1\text{g/cm}^3$ , la qualité des granulats est bonne.

$C/E = 1,8$ .

- Pour le dosage du ciment, on a  $A-C = 7\text{cm}$  et le rapport  $C/E = 1,79$  alors le dosage en ciment est de  $350\text{Kg/m}^3$ .

- Ensuite le dosage en eau :  $E = 195,5\text{ L}$ .

- Traçage du [OAB] :

$$X_A = 16/2 = 8.$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D+K+K_S}.$$

$$D = 16, K = 2, K_S = - 4,38 \rightarrow Y_A = 43,62.$$

- Dosage en volume :

$$\gamma = 0,820, V_{\text{ciment}} = 112,90\text{L}.$$

$$V_{GT} = 1000 \times \gamma - V_{\text{ciment}} \rightarrow V_{GT} = 701,1\text{ L}.$$

$$V_S = 703 \times 36\% \rightarrow V_S = 240,41\text{L}.$$

$$V_{G1} = 703 \times 14\% \rightarrow V_{G1} = 56,57\text{L}.$$

$$V_{G2} = 703 \times 50\% \rightarrow V_{G2} = 410,11\text{L}.$$

- Dosage en masse :

$$S = 625,06\text{Kg/m}^3.$$

$$G_1 = 144,25\text{Kg/m}^3.$$

$$G_2 = 1066,28\text{Kg/m}^3.$$

##### **4.1. Composition des Bétons**

D'abord, nous avons commencé à formuler un béton de référence (BO) sans fibres et additions en utilisant la méthode de Dreux Gorisse. Ensuite, le béton est renforcé par des fibres végétales de diss (400, 800 et 1200 g/m<sup>3</sup>), [25].

Le dosage optimal des fibres est fixé pour ajouter par la suite la poudre de verre en remplaçant une quantité de ciment (50 kg/m<sup>3</sup>) ce qui nous permet de faire une comparaison entre le béton fibré sans addition et le béton fibré avec addition et étudier ainsi l'effet des fibres et additions sur le comportement des bétons (ouvrabilité et résistance mécanique).

La composition des bétons est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau II.11** : Formulation des bétons.

Types de bétons	Dosages des constituants (Kg/m <sup>3</sup> )							
	Ciment	Eau	E/C	Sable	Gravillon	Gravier	Fibres	Poudre de verre
BO	350	195.5	0,55	625	144	1066	-	-
BF <sub>1</sub>	350	195.9	0,55	625	144	1066	0,4	-
BF <sub>2</sub>	350	196.3	0,56	625	144	1066	0,8	-
BF <sub>3</sub>	350	196.7	0,56	625	144	1066	1,2	-
BFP	300	196.3	0,56	625	144	1066	0,8	50

BO : béton ordinaire (témoin).

BF<sub>1</sub> : béton fibré (400 g de fibres de diss).

BF<sub>2</sub> : béton fibré (800 g de fibres de diss).

BF<sub>3</sub> : béton fibré (1200 g de fibres de diss).

BFP : béton fibré (800 g de fibres de diss) avec poudre de verre.

## **5. PROPRIETES DES BETONS**

### **5.1. Propriété du béton à l'état frais**

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en oeuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures.

De nombreux facteurs influent sur l'ouvrabilité : type et dosage en ciment, forme des granulats, granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau. Il ne faut

Cependant pas considérer que le dosage en eau peut être augmenté au-delà d'une certaine valeur dans le seul but d'améliorer l'ouvrabilité. Un excès d'eau se traduit, entre autres inconvénients, par un phénomène de « ressuage », qui est la création à la surface d'une pièce en béton, d'un film d'eau, générateur de fissures après évaporation.

La teneur en eau doit être strictement limitée au minimum compatible avec les exigences d'ouvrabilité et d'hydratation du ciment.

### **5.1.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams**

La consistance ou l'ouvrabilité d'un béton est un facteur important. Elle conditionne la facilité de mise en place du béton dans le coffrage et influe sur le dosage en ciment et en eau dans le béton. Elle a donc indirectement une conséquence sur le prix du béton. Plus l'ouvrabilité demandée est grande plus le béton contient d'eau et de ciment, plus son coût est élevé. Le choix de la consistance est donc un équilibre entre le coût du béton et l'ouvrabilité requise pour la mise en œuvre du béton.

L'observation visuelle de la consistance du béton permet de définir quatre classes de consistance :

**Tableau II.12:** Consistance du béton.

<b>Observation</b>	<b>A-C</b>	<b>Classe</b>
ferme	De 0 à 4cm	S1
plastique	De 5 à 9cm	S2
très plastique	De 10 à 15cm	S3
fluide	Supérieur à 16cm	S4

- La procédure d'essai selon la norme NFP 18-451 :
  - Le cône légèrement huilé, est rempli de béton en trois couches
  - Chaque couche est piquée par 25 coups de façon répartie jusqu'à la couche sous-jacente s'il y a lieu.
  - Le cône est arasé à l'aide d'une truelle.
  - Le cône de béton est démoulé. Le béton s'affaisse selon sa consistance.
  - L'affaissement du béton est mesuré en cm à l'aide du réglé sur portique. Cet affaissement est la hauteur entre le haut du cône et le point le plus haut du béton affaissé.



**Figure II.10** :Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

## **5.2. Propriété du béton à l'état durci**

### **5.2.1. Préparation et conservation des éprouvettes**

Le malaxage des bétons a été réalisé à l'aide d'une bétonnière qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve, suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement incliné.

L'introduction des matériaux dans la bétonnière se fait par ordre suivant : gravillons, ciment, sable. Après malaxage à sec pendant 3 min pour homogénéiser le mélange, on ajoute l'eau et on fait un malaxage de 2 min.

D'abord, on finit l'essai d'affaissement, ensuite les moules sont remplis du béton et après la vibration, ils sont placés à l'air libre.

Les échantillons sont démoulés 24 heures après le remplissage et conservés sous l'eau jusqu'au jour de l'écrasement.



**Figure II.11** : moulage du béton avant vibration.



**Figure II.12** : conservation des éprouvettes.

### **5.2.2. Choix des éprouvettes**

L'essai de compression simple est effectué sur des éprouvettes cubiques 10 x 10 x 10 cm.

Mais, l'essai de traction par flexion est effectué sur des éprouvettes prismatiques 7 x 7 x 28 cm.

L'écrasement est réalisé à des échéances de 7,14 et 28 jours et pour chaque essai on utilise 03 éprouvettes.

### **5.2.3. Essai de compression**

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cubiques (10 ×10 ×10 cm), fabriqués dans des moules d'acier. L'éprouvette est centrée dans les plateaux d'une presse hydraulique à vitesse constante.

L'essai de compression est conduit jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad [\text{MPa}]$$

P : l'effort de rupture.

S : la section d'éprouvette.



**Figure II.13** :Essai de compression.

### **5.2.4. L'essai de traction par flexion**

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques (7×7×28 cm), fabriqués dans des moules d'acier. L'essai consiste à rompre en deux points des éprouvettes à l'aide d'une machine de traction par flexion manuelle. On enregistre la valeur de l'effort de rupture et on calcul la résistance par la formule suivante :

$$R_{tf} = \frac{3P}{2bh^2} [\text{MPa}]$$

P : l'effort de rupture.

L : distance ente appuis.

b et h : dimension d'éprouvette.



**Figure II.14 :**Essai de traction par flexion.

## **6. CONCLUSION**

Dans cette étude expérimentale, nos constituants et bétons sont caractérisés et formulés à partir de la méthode de Dreux Gorisse et d'après les résultats obtenus, on a remarqué une bonne qualité des matériaux.

Les graviers utilisés présentent des distributions granulométriques continues pour les deux types (3/8 et 5/16) et le sable de dune utilisé dans notre recherche est un sable fin et propre, ce qui s'explique par une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance mécaniques avec des risques de ségrégation limités.

Les fibres de diss sont traitées avant leur utilisation dans le béton pour assurer une bonne adhérence avec la matrice cimentaire et éliminer le sucre qui prolonge la durée de prise.

## ***CHAPITRE III***

### ***RESULTATS ET DISCUSSION***

## **1. INTRODUCTION**

L'objectif de ce chapitre est de présenter et expliquer les résultats du programme expérimental que nous avons effectué au laboratoire et qui nous a permis d'étudier l'effet d'ajout des fibres de diss sur les propriétés des bétons. On a utilisé trois dosages de fibres (400, 800 et 1200 g/m<sup>3</sup>).

D'après les résultats obtenus, le dosage optimal des fibres est fixé à 0,8 kg/m<sup>3</sup> pour ajouter par la suite la poudre de verre en substituant une quantité de ciment (50 kg/m<sup>3</sup>).

## **2. BÉTON FRAIS**

### **2.1. Ouvrabilité des bétons**

L'ouvrabilité du béton est déterminée à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.

L'essai consiste à remplir une masse de béton frais dans un cône en trois couches tassées avec une tige d'acier, dont chacune subit un nombre déterminé de coups de piquage, puis démoulé et mesuré l'affaissement.

Le Tableau III.1 ainsi que la figure 25 présente les résultats de la consistance des divers bétons renforcés par la fibre de diss.

**Tableau III.1** : Ouvrabilité des bétons en fonction du dosage en fibre.

	BO	BF1	BF2	BF3	BFP
Dosage de fibre(Kg)	0	0,4	0,8	1,2	0,8
Affaissement (cm)	7	6	4,5	2,5	6

La figure III.1 montre que l'affaissement des bétons diminue avec l'augmentation du taux de fibres dans le béton, ceci est dû essentiellement au fait que le matériau végétale absorbe une quantité d'eau de gâchage ce qui influe évidemment sur l'ouvrabilité des mélanges [25].

On peut constater aussi que l'affaissement des bétons est gêné par les fibres. Le remplacement partiel du ciment par la poudre de verre entraîne une augmentation de l'affaissement du béton et améliore ainsi son homogénéité.

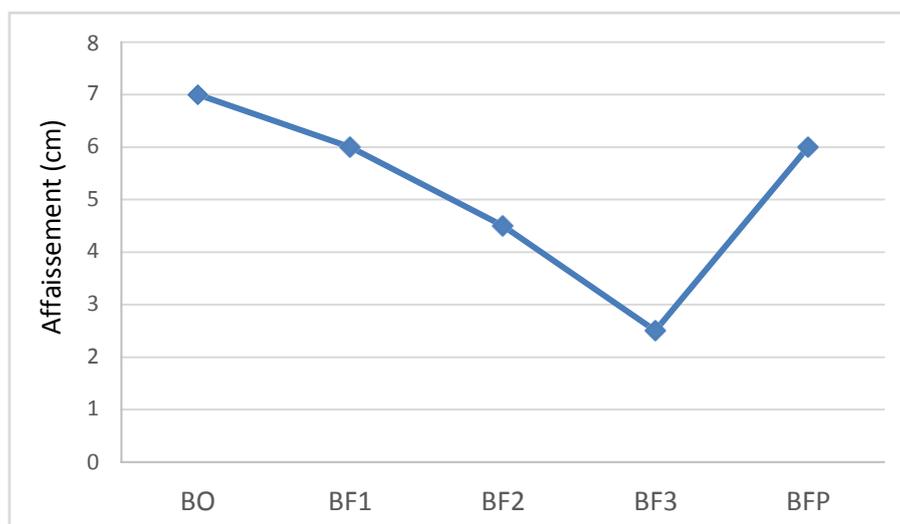


Figure III.1: maniabilité des bétons selon le dosage des fibres.

### 3. BETON DURCI

#### 3.1. Résistance en compression

L'essai de compression est réalisé à différentes échéances (7,14, et 28) jours. Les résultats obtenus de la résistance des bétons à la compression sont illustrés par les figures (III.2, III.3 et III.4).

L'introduction des fibres dans les bétons entraîne une légère diminution de la résistance en compression après 07 jours de durcissement (figure III.2).

Après 14 et 28 jours de durcissement (figure III.3 et III.4), le même constat peut être observé qu'à 07 jours, l'emploi des fibres dans les bétons entraîne une diminution des résistances en compression surtout pour un dosage élevé ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ), cette diminution est fonction du dosage en fibres.

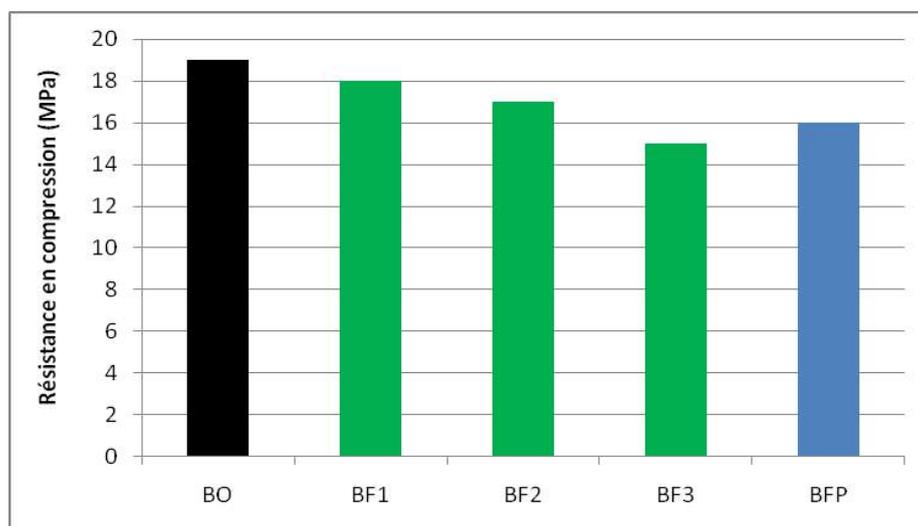


Figure III.2: effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 07 jours.

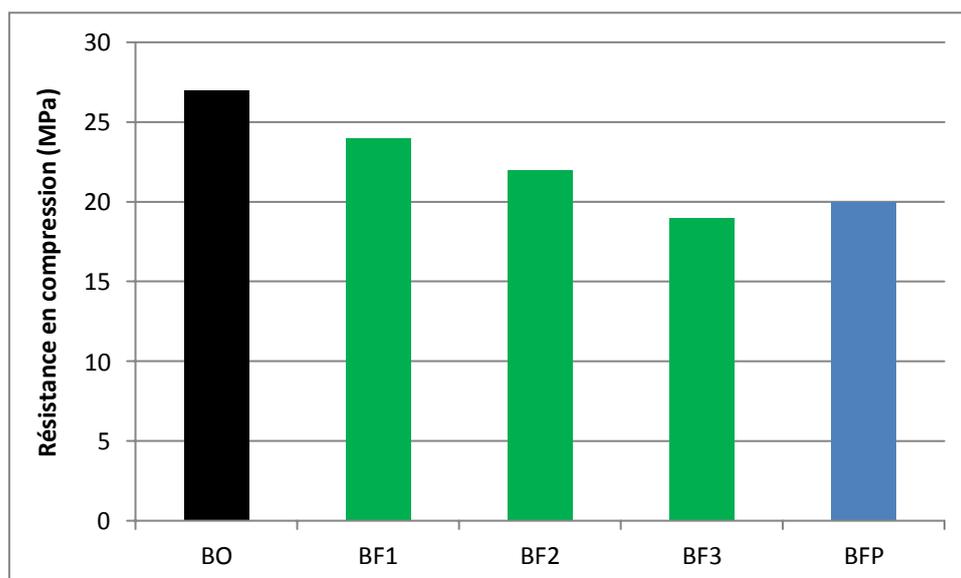


Figure III.3: effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 14 jours.

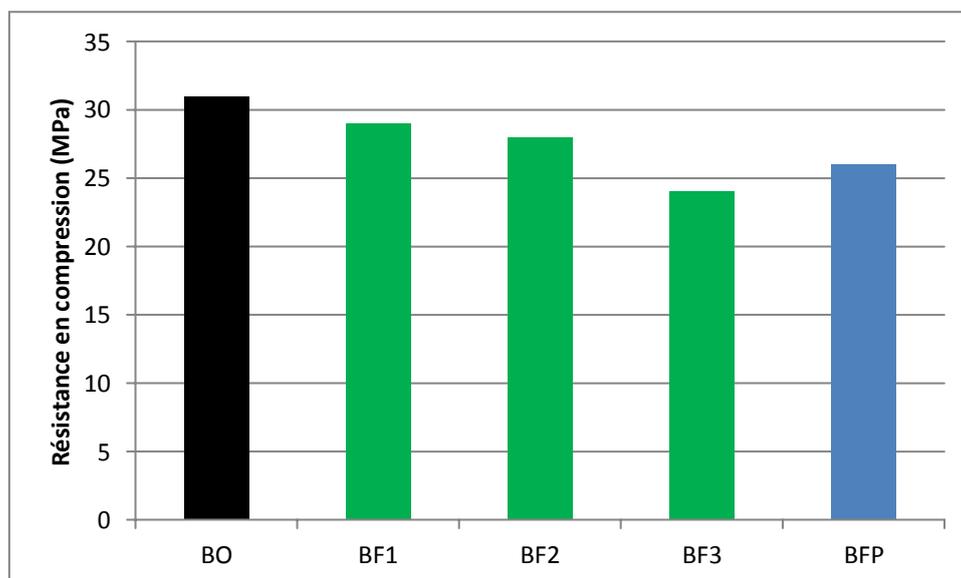


Figure III.4: effet des fibres de diss sur la résistance en compression à 28 jours.

La perte de résistance en compression peut être expliquée par le fait que l'introduction des fibres perturbe la compacité du matériau et entraîne la formation d'une porosité supplémentaire, notamment à l'interface fibre – matrice cimentaire [24] et [25].

L'ajout de la poudre de verre dans le béton armé n'a pas amélioré la résistance en compression et le béton fibré avec addition a donné des résultats presque semblables à celles du béton fibré sans addition.

### 3.2. Résistance à la traction par flexion

L'essai de traction par flexion est réalisé à différentes échéances (7 et 28) jours. Les résultats obtenus de la résistance des bétons à la traction par flexion sont rassemblés dans les figures (III.5 et III.6).

L'augmentation du dosage des fibres végétales entraîne une augmentation de la résistance en traction par flexion des bétons par rapport au béton sans fibres. Cela pourrait être expliqué par le fait que la fibre végétale se caractérise par un contour rugueux et épineux qui favorise l'adhérence avec la matrice cimentaire [24] et [25].

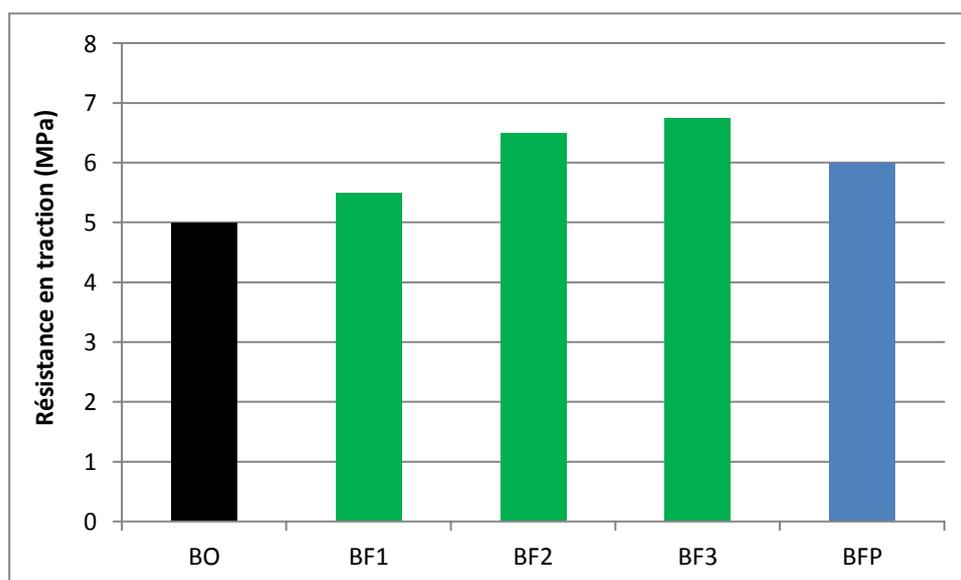


Figure III.5: effet des fibres de diss sur la résistance en traction à 07 jours.

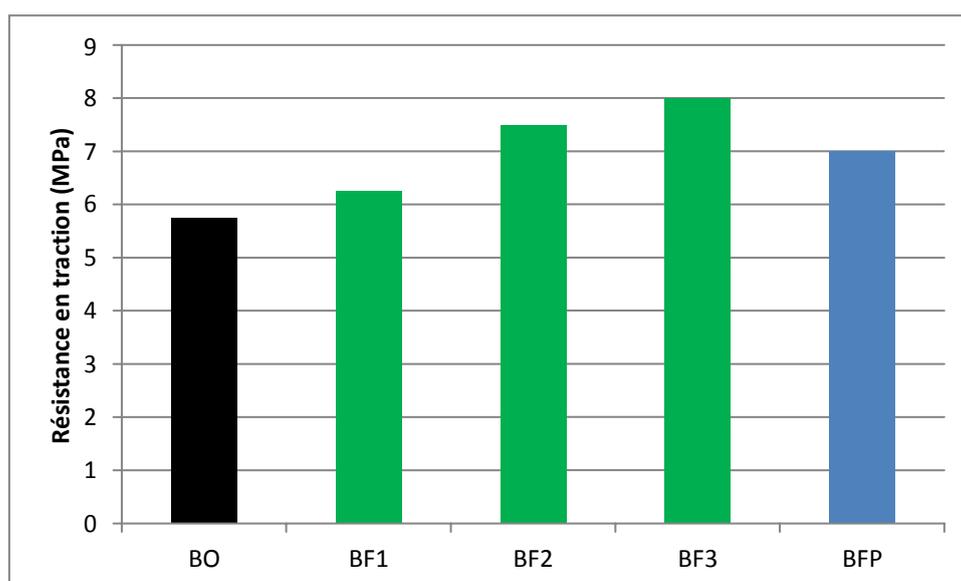


Figure III.6: effet des fibres de diss sur la résistance en traction à 28 jours.

L'introduction de la poudre de verre n'améliore pas la résistance en traction par flexion ce qui montre que l'addition minérale a un effet négligeable sur le comportement mécanique des bétons fibrés et présente des résultats identiques par rapport au béton fibré sans addition.

#### **4. CONCLUSION**

D'après les résultats obtenus, on constate que l'augmentation des fibres de diss provoque une diminution de la maniabilité des mélanges, parce que les fibres végétales absorbent de l'eau et gênent la maniabilité du béton.

On constate aussi la même chose pour les résistances mécaniques en compression, ce qui explique que la fibre crée une porosité supplémentaires au niveau de la matrice cimentaire.

Cependant, les fibres végétales ont une surface rugueuse ce qui améliore les résistances en traction par flexion des bétons et offre ainsi une meilleure liaison avec la matrice cimentaire.

Il est important à noter que l'utilisation d'un dosage de 0,8 Kg de fibres de disse semble largement acceptable parce qu'il a donné des résultats satisfaisant au niveau de l'ouvrabilité et résistance mécaniques.

La poudre de verre améliore l'ouvrabilité et l'homogénéité des bétons à l'état frais mais n'a aucun effet sur les comportements mécaniques des bétons fibrés.

Tous ces résultats nous encouragent à valoriser et utiliser les déchets de bouteilles de verre et les fibres végétales dans le domaine du génie civil.

***CONCLUSION GENERALE***

Le sujet traité s'appuie sur l'utilisation des déchets et matériaux naturels. Dans ce domaine, il existe très peu de travaux de recherche à ce sujet.

L'ajout de fibres de diss et la poudre de verre consiste à améliorer les caractéristiques des bétons à l'état frais et durci.

L'étude d'un béton comporte souvent à rechercher simultanément deux qualités essentielles, résistance mécanique et l'ouvrabilité. Ces deux qualités sont profondément liées l'une à l'autre. Dans cet ordre d'idées, cette étude se fixe principalement comme objectif de faire une étude sur le comportement des bétons fibrés (pour la confection de ce matériaux on a utilisé comme fibres : le diss).

D'après les résultats obtenus, on déduit que la présence des fibres modifie la porosité du béton. Dans notre cas, l'éprouvette avec fibres est plus poreuse que celle sans fibres et que cette porosité augmente par l'augmentation du taux de fibres, alors c'est normale que la résistance en compression diminue.

On constate aussi que l'augmentation des fibres végétales provoque une diminution de la maniabilité, parce que le diss absorbe de l'eau.

Cependant, dans le cas de la résistance en traction, les bétons fibrés présentent les meilleurs résultats par rapport aux bétons sans fibres parce que les fibres améliorent l'adhérence fibre-matrice.

Le remplacement partiel du ciment par la poudre de verre entraîne une amélioration de l'ouvrabilité du béton qui devient plus homogène. Par contre, l'addition minérale a un effet négligeable sur le comportement mécanique des bétons fibrés.

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

[1] **Histoire du béton.**

[www.wikipedia.org/wiki/Béton](http://www.wikipedia.org/wiki/Béton)

[2] **Béton.**

[fr.wikipedia.org/wiki/Béton](http://fr.wikipedia.org/wiki/Béton)

[3] **ARABI N.**, Technologie du Béton, cours master 01, Université d'Annaba.

[4] **BUIL M., OLLIVIER J-P.(1993)**, « conception des bétons : structure poreuse », la durabilité des bétons. Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, p 106.

[5] **Choix et caractérisation des matériaux**, Utilisation des cendres volantes pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction, par Azddine KAROUIE, Ecole HASSANIA des Travaux publics.

[6] **Shi and al. (1998)**, a study of effect of superfine powders on fluidity of cement paste, Transactions of the Japan Concrete Institute, vol 20, pp 9-14.

[7] **Idir, R. (2009)**, Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique (Doctoral dissertation, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse).

[8] **Carls ward et al. (2003)**, Effect of constituents on the workability and rheology of selfcompacting concrete, Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, Reykjavik, Islande, pp 143-153.

[9] **Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur**

[www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)

[10] **HOLMER. S and VAHAN. A. (1999)**. "Transition zone studies of vegetable fibre cementpaste composites», Cement and concrete composites 21, pp 49-57.

[11] **KHENFER. M (1990)**. Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques". Thèse de doctorat, université de Bordeaux.

[12] **KRIKER. A (2005)**. "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec", Thèse de Doctorat d'État, ENP, pp 166.

[13] **HAMEED R. (2010)**. Apport d'un Renfort de Fibres sur les Performances des Structures en Béton Armé pour les Applications Parasismiques, thèse de doctorat, université de Toulouse

- [14] **SWAMY. R. H. S., AHUJA. B., M. KRISHAMOORTHY. (1984).** Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers. The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1.
- [15] **COUTTS., R.S.P. (1983).** Flax fibers as a reinforcement in cement mortar, the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5 N°4, pp 257-262.
- [16] **BLEDZKI A. K and GASSAN J. (1999).** Composites reinforced with cellulose based fibers. ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274.
- [17] **TOLÈDO F.R.D., GHAVAMI, K., ENGLAN., (2003).** Development of vegetable fibers-mortar composites of improved durability. ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 25, p. 12.
- [18] **SUKONTASUKKUL P. (2004).** “Toughness evaluation of steel and polypropylene fibre reinforced concrete beams under bending”, Thammasat international journal of science and technology 9, 3 (Jul.-Sep. 2004) pp. 35-41.
- [19] **COTTERELL B., MAI Y.W. (1996).** “Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie Academic & Professional”, London/Chapman and Hall. p. 294.
- [20] **MARKOVIC I., WALRAVEN J.C., VAN MIER J.G.M. (2003).** “Self-compacting hybrid-fibre concrete mix design”, workability and mechanical properties, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Self- Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland.
- [21] **KAWAMATA A., MIHASHI H., FUKUYAMA H. (2003).** “Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites”, journal of advanced concrete technology vol.1, No.3, 283-290.
- [22] **CHANVILLARD G, (1993).** «Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d’acier», études et recherches des LPC, série ouvrages d’art.
- [23] **ALI BOUCETTA T, (2014).** Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d’écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes Performances, thèse de doctorat, université d’Annaba, Algérie.
- [24] **MERZOUD M., DHEILLY R.M., GOULLIEUX A., QUENEUDEC M. (2008).** ‘Optimisation of Lignocellulosic Composite formulated with a local resource : The Diss (Ampelodesmum mauritanica)’, Proceeding of the 7th International Congress, Dundee Scotland, U.K, Edition IHS BRE presse, ISBN-13: 978-1-84806-037-1, 651-660.
- [25] **LAIFA W, (2015).** Contribution à l’étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants, thèse de doctorat, université d’Annaba, Algérie.

