

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

1/98

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

*PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE CIVIL*

**Thème**

**ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE  
D'UN  
BETON RENFORCE PAR DES FIBRES DE PALMIER**

**Encadré par :**

Mr R. BOUTEMEUR  
Mr K. SILHADI

**Présenté par :**

Mr BOUAZOUNE Hamoud  
Mr GHANES Yacine

**Promotion : Juin 1998**

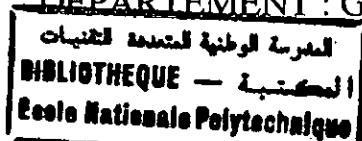
**ENP - 10, Avenue Hacène Badi - EL HARRACH - ALGER**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

*PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE CIVIL*

**Thème**

**ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE  
D'UN  
BETON RENFORCE PAR DES FIBRES DE PALMIER**

**Encadré par :**

Mr R. BOUTEMEUR  
Mr K. SILHADI

**Présenté par :**

Mr BOUAZOUNE Hamoud  
Mr GHANES Yacine

**Promotion : Juin 1998**

**ENP - 10, Avenue Hacène Badi - EL HARRACH - ALGER**



## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

**Mon père pour ses sacrifices et ses précieux conseils.**

**Ma mère pour sa présence et son assistance.**

**La mémoire de mes deux grands pères Chabane et Salem.**

**Mes sœurs Maya et Lilya et mon frère Mimine.**

**Mes amis : Tarek, Yacine, Hamoud, Selim, Djamil 'le beau', Hamid et à tous ceux qui m'ont soutenu.**

**La paix retrouvée dans notre pays , le rétablissement de notre véritable identité et la fin de tout ce qui divise.**

**GHANES Yacine**

## *Dédicaces*



*Je dédie mon travail à :*

**Ma tendre mère pour l'éducation qu'elle m'a apportée et pour tous ses sacrifices.**

**La famille GHANES dont Sissine et Mimine.**

**Mon beau-frère Said pour son aide précieuse.**

**Houda pour son soutien moral.**

**Mon frère et mes sœurs et à tous mes amis parmi lesquelles : Yacine, Rachid, Sofiane, Khaled, Tarek, Djamil, Hamid et tous les autres.**

**Tous ceux qui veillent pour que la paix revienne en Algérie.**

**BOUAZOUNE Hamoud**



## *Remerciements*

### *Nous remercions :*

**Mr. R. BOUTEMEUR et Mr K. SILHADI**

Pour leurs suivis et de nous avoir prodigué de précieuses directives et conseils.

**Mme BAOUCHE et Mme KETTAB**

Elles nous ont beaucoup assisté grâce à leur disponibilité et leurs précieux conseils.

**La SONATRO** pour son aide précieuse qui nous a permis d'utiliser son laboratoire.

**L'E.CA.VA Carrière JOBERT et l'ENGOA** pour les dons de matériaux, granulats, dont nous avons bénéficié.

**L'ERCC de Rais-Hamidou** pour ses dons de ciment CPJ 45 .

**Le laboratoire de L'INIM de Boumerdès** pour son assistance et ses conseils.

**La société CELPAP** pour la mise à disposition de matériels de laboratoire.

**Ainsi qu'à tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce travail.**

**Nos remerciements anticipés vont également à tous les membres de jury qui auront à examiner nos travaux.**

**Qu'ils soient tous assurés de notre immense gratitude.**

**BOUAZOUNE Hamoud  
GHANES Yacine**

# SOMMAIRE



|                      |   |
|----------------------|---|
| INTRODUCTION         | 4 |
| OBJECTIF DE L'ETUDE. | 4 |

## Chapitre I : BETON DE FIBRES.

|   |    |
|---|----|
| I Béton de fibres   | 5  |
| II Rôle de la fibre   | 5  |
| III Les Facteurs extrinsèques influants sur les caractéristiques du béton de fibres | 7  |
| 1. Confection et ouvrabilité  | 7  |
| 2. Le malaxage  | 7  |
| 3. Mise en œuvre des éprouvettes  | 7  |
| 4. Conservation   | 8  |
| IV Propriétés du béton de fibres  | 8  |
| 1. Introduction et généralités  | 8  |
| 2. Résistance à la compression  | 8  |
| 3. Résistance à la traction   | 8  |
| 4. Résistance à la flexion  | 8  |
| 5. Comportement aux chocs des bétons de fibres                                      | 8  |
| 6. Résistance à la fatigue des bétons de fibres                                     | 9  |
| 7. Fluage et retrait des bétons de fibres   | 9  |
| 8. Durabilité   | 9  |
| V Domaines d'applications des bétons de fibres                                      | 9  |
| VI Coût   | 10 |

## Chapitre II : LE PALMIER ET LES FIBRES DE PALMIER.

|  |    |
|--|----|
| I Introduction   | 11 |
| II Le Palmier Doum                                     | 11 |
| 1. Généralités   | 11 |
| 2. Classification et noms scientifiques                | 12 |
| 3. Distribution  | 12 |
| III Préparation de la fibre                            | 12 |
| 1. Le défibrage chimique                               | 12 |
| 2. Le défibrage manuel                                 | 13 |
| IV Caractéristiques chimiques et physiques de la fibre | 13 |
| 1. Composition chimique                                | 14 |
| 2. Absorption de l'eau par la fibre                    | 14 |
| 3. Masse spécifique et masse volumique                 | 14 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| V   | Propriétés mécaniques de la fibre  | 15 |
|     | 1. Essais à la traction  | 15 |
|     | 2. Comparaison de la fibre de palmier avec les principales fibres naturelles | 17 |
| VI  | Comportement de la fibre au sein d'une matrice type béton de ciment          | 17 |
|     | 1. Durabilité des fibres de palmier dans un béton frais                      | 17 |
|     | 2. Durabilité des fibres de palmier dans un béton durci                      | 18 |
| VII | Conclusion   | 18 |

## Chapitre III : CHOIX DES COMPOSANTS DU BETON.

|     |  |    |
|-----|--|----|
| I   | Introduction                                   | 19 |
| II  | Le ciment                                      | 19 |
|     | 1. Analyse physico-chimique du ciment          | 20 |
|     | 2. Résistances mécaniques du ciment            | 20 |
| III | Le sable                                       | 20 |
|     | 1. Influence de la forme des grains            | 20 |
|     | 2. Propreté du sable                           | 21 |
|     | • Essai de l'équivalent sable                  | 21 |
|     | • L'essai du bleu de méthylène                 | 21 |
|     | 3. Masse spécifique                            | 21 |
|     | 4. Analyse granulométrique                     | 21 |
|     | 5. Module de finesse                           | 22 |
| IV  | Les gravillons                                 | 22 |
|     | 1. Propreté des gravillons                     | 23 |
|     | 2. Essai de l'attrition et de la fragmentation | 23 |
|     | • Essai Los Angeles                            | 23 |
|     | • Essai du Micro Deval en présence d'eau       | 24 |
|     | 3. Forme des gravillons                        | 24 |
|     | 4. Poids spécifiques                           | 24 |
|     | 5. Granulométrie                               | 25 |
| V   | Eau de gâchage                                 | 25 |
| VI  | Courbes granulométriques                       | 26 |

## Chapitre IV : ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON DE FIBRES.

|    |                                  |    |
|----|----------------------------------|----|
| I  | Programme de l'étude             | 27 |
| II | Définition des essais            | 27 |
|    | 1. Essai de compression          | 27 |
|    | 2. Essai de traction par flexion | 28 |
|    | 3. Essai de traction par fendage | 28 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| III | Etude du comportement mécanique sur des bétons renforcés avec 15, 20 et 25 Kg de fibres/m <sup>3</sup> | 29 |
|     | 1. Préparation des éprouvettes   | 29 |
|     | 1 - 1 Méthodes de composition du béton   | 29 |
|     | 1 - 2 Malaxage   | 30 |
|     | 1 - 3 Mise en œuvre des éprouvettes  | 31 |
|     | 1 - 4 Mesures et contrôles de l'ouvrabilité  | 31 |
|     | 1 - 5 Conservation des éprouvettes   | 31 |
|     | 1 - 6 Surfaçage des éprouvettes cylindriques   | 32 |
|     | 1 - 7 Mesure des déformations du béton   | 32 |
|     | 2. Les essais mécaniques   | 32 |
|     | 2 - 1 Sollicitation en compression   | 33 |
|     | 2 - 2 Sollicitation en traction par fendage  | 33 |
|     | 2 - 3 Sollicitation en traction par flexion  | 34 |
|     | 3. Interprétation et discussions des résultats   | 35 |
|     | 4. Conclusion  | 35 |
| IV  | Etude du comportement mécanique sur des bétons renforcés avec 2 et 4 Kg de fibres/m <sup>3</sup>       | 36 |
|     | 1. Préparation des éprouvettes   | 36 |
|     | 1 - 1 Composition du béton avec et sans fibres   | 36 |
|     | 1 - 2 Durée de malaxage des constituants du béton  | 37 |
|     | 1 - 3 Mesures et contrôles de l'ouvrabilité  | 37 |
|     | 2. Les essais mécaniques   | 38 |
|     | 2 - 1 Sollicitation en compression   | 38 |
|     | 2 - 2 Sollicitation en traction par fendage  | 43 |
|     | 2 - 3 Sollicitation en traction par flexion  | 43 |
|     | 3. Interprétation et discussions des résultats   | 44 |
|     | 4. Conclusion  | 45 |

## Conclusion générale 46

## Annexes

|               |    |
|---------------|----|
| Annexe - 1 -  | 47 |
| Annexe - 2 -  | 50 |
| Annexe - 3 -  | 52 |
| Annexe - 4 -  | 57 |
| Annexe Photos |    |

## Bibliographie



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION :

Même dans ses formulations modernes, le béton lorsqu'il est employé seul reste un matériau fragile, fissurant et ayant une faible résistance en traction. Les solutions classiques pour remédier à ces défauts consistent à associer le béton à d'autres matériaux l'acier notamment. Les plus connues de ces solutions s'appellent le béton armé et le béton précontraint. Le béton de fibres, matériau composite à matrice cimenteuse contenant des fibres est une autre approche.

D'un point de vue historique, l'homme a de tout temps utilisé des matières naturelles qui présentaient des propriétés mécaniques intéressantes grâce à leurs structures fibreuses telles que le bois et la paille.

Il y a 5000 ans, en Finlande, les fabrications de poteries en argiles étaient renforcées par des fibres d'asbestos.

Parmi les différents types de fibres employées actuellement, les fibres de verre, d'acier, de carbone ou synthétiques donnent des résultats satisfaisants sur le plan technique, mais confèrent au matériau un prix de revient élevé.

Les renforcements des matériaux à base de ciment font l'objet de nombreuses recherches ayant abouti à des brevets, des processus de fabrication et des publications. [12]

Par ailleurs, l'emploi de fibres naturelles telles que le sisal, la canne à sucre ou le bambou améliorent le matériau de façon non négligeable, l'allège et lui procure de meilleures performances thermiques. L'inconvénient majeur de ces fibres, est leur mauvaise tenue au vieillissement.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi de renforcer le béton par des fibres de palmier. Ceci permet de valoriser une ressource naturelle nationale en tenant compte de l'aspect économique que celle-ci présente.

Le but principal de l'introduction des fibres dans la technique du béton est de mieux contrôler la fissuration du béton en état de service et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

Notre étude qui tend à accréditer la possibilité d'utiliser la fibre de palmier dans les bétons se limite cependant à l'évaluation des caractéristiques aux jeunes âges, et les résultats obtenus doivent être confirmés par des études de comportement au vieillissement.

## OBJECTIF DE L'ETUDE :

On est loin aujourd'hui, de répondre convenablement à la réaction que peuvent avoir les fibres naturelles sur le béton qu'elle soit mécanique, physique ou chimique et à la valeur minimale ou maximale qu'on peut introduire dans le béton.

L'objectif premier est de situer le comportement à la compression et à la traction d'un béton de fibres de palmier par rapport à un **béton blanc** c'est à dire non renforcé, afin de quantifier l'apport des fibres.

# **Chapitre I**

## **BETON DE FIBRES**

# BETON DE FIBRES

## I - Béton de fibres :

On appelle béton de fibres, un béton dans lequel on a prévu une armature incorporée par inclusion directe de fibres qui se répartissent omnidirectionnellement dans la matrice au moment du gâchage. Ces fibres sont assimilables à des granulats spéciaux de forme très allongée susceptibles d'améliorer légèrement la résistance et surtout de créer au travers des fissures, des coutures résistantes afin de s'opposer à la propagation de celles-ci.

Parmi les différents types de fibres, c'est la fibre de verre qui donne une meilleure résistance mécanique intrinsèque mais qui pose certains problèmes de coût et des problèmes d'ordre chimiques. La fibre métallique quant à elle a la particularité d'offrir une meilleure adhérence avec la matrice mais le coût est néanmoins élevé.

L'intérêt d'employer des fibres naturelles dans le cadre de notre étude qui présentent de moins bonnes caractéristiques mécaniques, est surtout d'alléger la matrice de béton, améliorer les performances thermiques.

## II - Rôle de la fibre :

L'adjonction des fibres naturelles n'augmente pas la résistance à la compression ni la résistance à la flexion, puisque les résultats obtenus avec des fibres présentant de meilleures caractéristiques mécaniques furent limités.

Le rôle principal des fibres de palmier est de mieux contrôler la fissuration du béton en état de service et ceci à l'échelle matériau, en réduisant l'ouverture des microfissures et ainsi retarder l'apparition des macrofissures. A l'échelle structure, ces fibres **reprendraient** les efforts à travers les macrofissures créées et par conséquent transformeraient le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

Dans le cas d'un béton fissuré quand on exerce une traction sur ce matériau, les lignes de tension doivent s'infléchir parce que la charge ne peut pas être transmise par la fissure (fig. 1) et les tensions aux extrémités augmentent.

Fig. 1. – La fonction des fibres

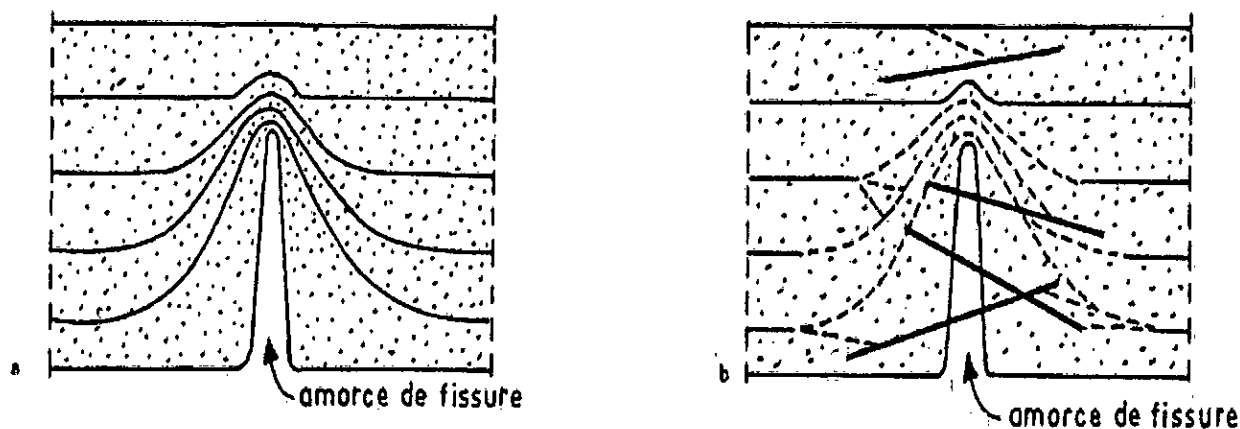


Fig. 1a. : béton sans fibres

Fig. 1b : béton avec fibres. Les fibres assurent la couture.

Dans le cas d'un béton de fibres, il va de soi que plus les fibres sont ancrées dans le béton et plus elles sont nombreuses, plus grande sera leur efficacité.

Les caractéristiques qui en résultent directement assurent une meilleure résistance à la fatigue et une meilleure résistance aux chocs.

Nous donnons les principales caractéristiques mécaniques des différentes fibres dans le tableau ci-dessous [12].

| Nature de la fibre | Diamètre $\mu\text{m}$ | Masse volumique $\text{Kg/dm}^3$ | Module de Young 1000 $\text{Mpa}$ | Résistance à la traction 1000 $\text{MPa}$ | Allongement à la rupture % |
|--------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|
| Amiante            | 0.02 à 20              | 2.55                             | 165                               | 3 à 4.5                                    | 2 à 3                      |
| Verre              | 9 à 15                 | 2.60                             | 70 à 80                           | 2 à 4                                      | 2 à 3.5                    |
| Graphite           | 8 à 9                  | 1.90                             | 240 à 415                         | 1.5 à 2.1                                  | 0.50 à 1                   |
| Acier              | 5 à 500                | 7.84                             | 200                               | 1 à 3                                      | 3 à 4                      |
| Polypropylène      | 20 à 200               | 0.91                             | 5 à 7                             | 0.5 à 0.75                                 | 20                         |
| Kevlar             | 10                     | 1.45                             | 65 à 133                          | 3.6  | 2.10 à 4                   |
| Noix de coco       | 10 à 40                | 0.7 à 0.8                        | 19 à 26                           | 0.12 à 0.2                                 | 10 à 25                    |
| Canne à sucre      | 20 à 40                | -                                | 15 à 19                           | 0.17 à 0.29                                | -                          |

**Tableau : Caractéristiques mécaniques des principales fibres utilisées pour le renforcement du mortier et du béton**

### **III - Les facteurs extrinsèques influent sur les caractéristiques du béton de fibres :**

#### **III - 1 Confection et ouvrabilité :**

L'ouvrabilité d'un béton est fonction :

- Du dosage en volume des fibres, et de l'élançement de la fibre : l'ouvrabilité du béton diminue lorsque le dosage en fibres et l'élançement de celles-ci sont importants ;
- Des dimensions des granulats et leur quantité relative : l'ouvrabilité sera réduite avec de grandes quantités de gros granulats ;
- De la géométrie et l'état de surface des fibres : une surface rugueuse peut augmenter le risque de formation de pelotes de fibres.

Les méthodes de mesure de l'ouvrabilité du béton ne sont pas toujours adaptées au béton de fibres. Ainsi le cône d'Abrams peut convenir pour les faibles dosages en fibres (30 Kg/m<sup>3</sup> de béton). Les méthodes de mesure faisant appel à la vibration tel que le flow test sont plus indiquées.

#### **III - 2 Le malaxage :**

La qualité du béton dépend énormément de l'homogénéisation du mélange obtenu grâce au malaxage.

Les différentes variables qui interviennent sont :

- Le type de malaxeur.
- La vitesse de malaxage des fibres.
- La durée de malaxage.

C'est pourquoi, les fibres doivent être distribuées de façon homogène dans le mélange au risque de rencontrer les cas suivants :

- Formation de pelotes de fibres (oursins) si les fibres sont introduites dans le béton sans précautions particulières.
- Distribution hétérogène si le temps de malaxage est trop court.
- Formation de pelotes de fibres si la durée de malaxage est trop longue et si la quantité de fibres est voisine du maximum calculé.

#### **III - 3 Mise en œuvre des éprouvettes :**

La mise en place du béton de fibres doit se faire de telle sorte à remplir aisément le moule.

Toute la vibration doit faire l'objet d'une étude attentive et est expliquée en détail dans le chapitre IV.

Il est déconseillé d'utiliser une aiguille vibrante pour la mise en œuvre du fait de l'orientation préférentielle des fibres et de l'effet de cheminée.

### **III - 4 Conservation :**

La conservation des éprouvettes se fera dans de l'eau à 20°C pour éviter le phénomène de retrait dû à l'évaporation de l'eau et au raccourcissement dû à une baisse de la température.

Les éprouvettes doivent être stockées horizontalement dans la cuve.

## **IV - Propriétés de béton de fibres :**

### **IV - 1 Introduction et généralités :**

Les propriétés du béton de fibres dépendent des paramètres suivants : [6]

- pourcentages des fibres,
- longueurs des fibres,
- forme de la section dont dépend la surface latérale d'adhérence,
- forme des fibres (plates, droites, ondulées),
- orientation des fibres vis-à-vis de la direction de l'effort,
- béton de la matrice (formulation, dimensions des granulats, teneur en ciment, maniabilité).

### **IV - 2 Résistance à la compression :**

La résistance à la compression devrait être du même ordre, voire inférieur à celle du béton sans fibres et cela par ce que la littérature nous informe qu'avec des fibres ayant de meilleures caractéristiques mécaniques, nous ne pouvons améliorer la résistance à la compression. [6]

### **IV - 3 Résistance à la traction :**

La présence de fibres n'améliore pas de façon significative la résistance à la traction comparativement au béton sans fibres [6]. Cependant, on note une meilleure répartition des fissures de faible ouverture et une résistance résiduelle qui dépend du dosage en fibres et de leur adhérence au béton.

### **IV - 4 Résistance à la flexion :**

Les fibres de palmier peuvent améliorer la résistance à la flexion dans le cas de forts dosages en fibres.

En général, les essais de flexion avec des fibres métalliques sont concluants par ce que nous constatons une transformation très significative de la courbe effort-déformation qui fait apparaître un accroissement faible ou nul de la résistance à la première fissuration, mais une résistance parfois supérieure après la première fissuration qui s'étend sur de fortes déformations.[6]

### **IV - 5 Comportement aux chocs des bétons de fibres :**

La résistance aux chocs ou à l'impact est une propriété intéressante pour certaines applications. Aussi, le fait que la présence de fibres s'oppose à la propagation de la fissuration, et que les bétons de fibres présentent généralement une déformation importante après obtention de la charge maximale, confère aux matrices renforcées par des fibres une résistance locale élevée vis-à-vis du choc. [12].

L'aptitude d'un béton de fibres à absorber l'énergie du choc dépend du volume et de la propriété de la fibre. C'est pourquoi, cette fibre joue un rôle important au niveau de la dissipation d'énergie.

#### **IV - 6 Résistance à la fatigue des bétons de fibres :**

S'opposant à la propagation de la fissuration, les fibres accroissent la résistance à la fatigue du béton dans une proportion importante qui dépend du volume, de la mise en place et de l'adhérence des fibres dans le béton. [12].

#### **IV - 7 Fluage et retrait des bétons de fibres :**

Ces deux propriétés sont liées directement au volume des vides contenus dans la matrice. Aussi, si nous ne voulons pas que l'adjonction de fibres s'accompagne d'une augmentation du retrait, nous devons faire en sorte que la mise en place des fibres n'entraîne pas une diminution de compacité. Ceci revient à limiter le volume de fibres mises en place. [12]

L'effet des fibres sur le fluage en compression est négligeable, par contre en traction, les fibres s'opposant au développement de la fissuration diminuent le fluage.

#### **IV - 8 Durabilité :**

A priori, on pourrait craindre la détérioration des fibres naturelles due aux intempéries. Toutefois, il faut remarquer que contrairement au béton armé, les fibres ne sont pas seulement concentrées près de la surface mais que la majeure partie bénéficie d'un enrobage protecteur important.

Cependant les fibres peuvent être protégées par un enduit pour mieux se conserver dans le temps sans nuire à l'adhérence entre la fibre et le béton, nous expliquons plus profondément cette approche dans le chapitre II.

### **V - Domaines d'applications des bétons de fibres :**

Les applications du béton de fibres dépendent directement de ses propres caractéristiques :

- renforcement homogène du béton,
- économie de la main d'œuvre de mise en place des armatures,
- simplicité de la mise en œuvre du béton fibré,
- propriétés du matériau, en particulier, son comportement lors de la fissuration et sa ductilité.

Parmi les principales applications, on peut citer :

- dallages industriels,
- routes, pistes et parkings,
- bétons projetés,
- bétons de sécurité (civils ou militaires),
- bâtiment et préfabrication, en particulier :
  - éléments porteurs ou non porteurs, y compris allèges, acrotères, garde-corps,
  - éléments de partition, cloisons, voiles de remplissage,



- bétons extrudés,
- certains pieux forés...etc.

## **VI - Coût :**

Le coût est un critère essentiel pour un maître d'œuvre, il est clair qu'il ne peut être attentif à cette innovation que si le coût global de l'ouvrage est réduit par rapport à une solution traditionnelle ou que, si la solution proposée, à coût comparable, apporte sur le plan technique du fonctionnement de l'ouvrage une amélioration notable.

# **Chapitre II**

## **LE PALMIER ET LES FIBRES DE PALMIER**

# LE PALMIER ET LES FIBRES DU PALMIER

## I - Introduction :

Le patrimoine national de palmiers est très important, il s'élève à plus de 8 000 000 de palmiers (source : INRA 1991). Dans un souci de valorisation de cette ressource naturelle, la fibre de palmier suscite un intérêt particulier comme domaine de recherche dans le renforcement du béton.

Pour cela, nous avons pensé tout simplement à récupérer les branches de diverse espèce de palmiers lors de la **taille**, fournissant ainsi, des quantités importantes de palmes pouvant être utilisées pour la construction après une étude exhaustive des caractéristiques intrinsèques des fibres obtenues.

Nous choisissons les fibres de palmier Doum dans le cadre de notre étude comme renforcement du béton du fait de leur disponibilité sur le marché, ces fibres naturelles devront présenter des qualités que nous citerons ultérieurement.

## II - Le palmier Doum :

### II-1 Généralités :

Le palmier Doum est omniprésent sur toute la bande sahélienne et il pousse spontanément sur les bords de la Méditerranée.

Adulte, c'est un palmier qui peut atteindre une hauteur de 20 mètres et un diamètre au niveau de la base de 40 cm.

En ce qui concerne l'appareil foliaire, chaque axe se termine par un bouquet de vingt à trente palmes actives dont la taille, pour un palmier adulte, varie de 100 à 160 cm. Le pétiole d'une longueur totale variant de 80 à 120 cm possède une partie foliolée et une partie épineuse.

On peut citer de nombreux exemples concernant l'utilisation du palmier Doum tels que la construction, l'artisanat, la pharmacopée traditionnelle et comme bois de chauffe.

Cette espèce n'a pas été étudiée dans l'optique d'être utilisé un jour dans le béton, c'est pour cette raison, que nous consacrerons une bonne partie de notre temps à étudier les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des fibres de palmier pour pouvoir interpréter de façon concrète les interactions de celles-ci avec le béton. [7]

## II-2 Classification et noms scientifiques :

Nous présentons ci-dessous les classifications et les noms scientifiques [7] :

- Famille :           Arecaceae
- Groupe :           Coryphoideae
- Tribu :             Borasseae
- Sous-tribu :       Hyphaeninae
- Genre :            Hyphaene
- Espèce :           Hyphaene thebaica (L.) Martius

## II-3 Distribution :

Le palmier Doum ne se trouve que dans les zones arides et semi-arides, les pays où l'on rencontre cette espèce sont les suivants [7] :

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| Algérie             | Mali           |
| Arabie saoudite     | Mauritanie     |
| Bénin               | Niger          |
| Burkina faso        | Nigeria (Nord) |
| Cameroun (Nord)     | Sénégal (Nord) |
| Centrafrique (Nord) | Somalie        |
| Egypte              | Soudan         |
| Ethiopie            | Tchad          |
| Israël              | Togo           |
| Kenya (Nord)        |                |

## III - Préparation de la fibre :

La fibre doit être, avant tout, mécaniquement, physiquement et chimiquement compatible avec les constituants du béton, et en particulier avec le ciment ; elle doit conserver ses propriétés dans le temps et être d'un coût acceptable compte tenu des performances qu'elle confère à la matrice. Elle devra avoir aussi une adhérence correcte à la matrice.

Il est également important de connaître la durabilité de ces fibres qui sont composées de matière organique, dans un béton frais et à long terme dans un béton durci.

C'est pourquoi, nous déterminerons avec précision les diverses caractéristiques de la fibre avant de l'utiliser comme renforcement du béton.

A notre jour, il n'existe pas de procédé type pour extraire des fibres du palmier, c'est pourquoi, nous avons pensé à le faire à travers deux méthodes.

### III - 1 Le défibrage chimique :

Cette idée nous a été proposée par le laboratoire de l'INIM de Boumerdes. Cela consiste en un traitement appelé cuisson papetière parce qu'il est pratiqué dans des conditions de température, de temps, de concentration de produits actifs bien définis : alcalins ou acides. [8]

Ce traitement se fait dans le but de dissoudre les lignines de la lamelle mitoyenne qui servent de liant.

Ceci nous permettra d'obtenir des fibres individuelles. Les cuissons alcalines se font :

- à la soude NaOH pure,
- Kraft NaOH + Na<sub>2</sub>S<sup>-</sup> (sulfure de sodium)
- Soude NaOH + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,
- Monosulfite Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Les cuissons acides se font principalement au bisulfite de magnésium : SO<sub>2</sub> + (HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>MG.

Dans le cadre de notre étude, nous avons découpé des copeaux de tiges de palmier pour les plonger dans une solution contenant 6 à 12 % de soude (pourcentage donné par rapport au poids de l'eau) dans de l'eau.

Le choix de la quantité de soude et du temps d'immersion des copeaux des tiges du palmier sont les résultats d'expériences et d'observations effectuées au laboratoire de l'INIM jusqu'à ce que les fibres se détachent entre elles.

Ainsi les fibres obtenues sont retirées et séchées pour pouvoir être broyer, malheureusement nous ne pouvons obtenir que des longueurs inférieures à 5 mm d'où la nécessité de trouver un autre moyen de défibrage.

### III - 2 Le défibrage manuel :

Il faut savoir que c'est cette méthode que nous retiendrons dans le cadre de notre étude.

Compte tenu de la structure fibreuse des palmes et en particulier de la coaxialité des fibres, il suffit de procéder par fendages successifs dans le sens longitudinal pour obtenir des lamelles de plus en plus fines.

Il est difficile d'obtenir des fibres proprement dites mais plutôt des faisceaux de fibres qui peuvent être considérés comme des fibres au sens donné à ce terme pour les bétons de fibres. Ces fibres sont illustrées à l'annexe photos, N°6.

Ce défibrage se fera à l'aide de brosses métalliques et de pinces coupantes qui sont de conception simple et peu coûteuse. L'inconvénient de ce procédé est qu'il soit long et difficile.

Avant d'essayer d'utiliser ces fibres comme renforcement principal du béton, il est important de déterminer avec précision les propriétés physiques et mécaniques.

## IV - Caractéristiques chimiques et physiques de la fibre :

L'étude des propriétés physiques de la fibre inclue la composition chimique, la quantité d'eau absorbée de la fibre et les masses spécifiques et volumiques.

#### IV - 1 Composition chimique :

Les fibres de palmier sont composées essentiellement de matériaux cellulosiques consolidés par une matière liante. Nous déterminerons la composition chimique de cette fibre, pour pouvoir d'une part, trouver une manière de rompre la liaison matière liante et cellulose à travers un procédé chimique dans le but de défibrer, et de l'autre, connaître l'effet du ciment sur la fibre.

##### Composition chimique de la fibre :

Les constituants sont donnés dans le tableau représenté ci-dessous avec des pourcentages représentant des quantités pondérales.

| Constituants                                | Pourcentage % |
|---|---------------|
| Humidité                                    | 10.05         |
| Cendre                                      | 7.398         |
| Substance extractible                       | 6.74          |
| Substance extractible à l'alcool de benzène | 2.29          |
| Cellulose                                   | 44.38         |
| Lignine                                     | 29.142        |

**Remarque :** Nous pensons que c'est la lignine qui lie les fibres entre elles, c'est pourquoi il serait intéressant d'effectuer des recherches pour trouver la bonne méthode et le produit adéquat afin de défibrer facilement.

#### IV - 2 Absorption de l'eau par la fibre :

Nous pesons une quantité de fibres de palmier à l'état sec que nous immergeons dans de l'eau pendant 10, 30 minutes, 2, 4 et 24 heures. Nous les retirons de l'eau pour les peser à l'état humide, ainsi nous mesurons le taux d'absorption TA.

$$TA = \{ [P(\text{humide}) - P(\text{sec})] / P(\text{sec}) \} \cdot 100\% \quad \text{Poids à sec} = 19.22 \text{ gr.}$$

| Durée      | Poids (gr) | TA %  |
|------------|------------|-------|
| 0          | 19.22      | 0     |
| 10 minutes | 44.36      | 130.8 |
| 30 minutes | 44.74      | 132.8 |
| 02 heures  | 48.50      | 152.3 |
| 04 heures  | 53.55      | 178.6 |
| 24 heures  | 58.25      | 203.1 |

Ces résultats nous permettent de rajouter une quantité d'eau exacte que vont absorber les fibres à l'eau de gâchage calculée ultérieurement par la relation  $(E/C) = 0.55$  pour préserver d'une part la quantité d'eau qui servira à l'hydratation du ciment, et de l'autre, l'ouvrabilité de du béton de fibres.

#### IV - 3 Masse spécifique et masse volumique de la fibre :

##### 1 - Masse spécifique :

Nous calculons la masse spécifique à l'aide d'un pycnomètre et procédons de la sorte :

|   |      |      |       |      |         |        |
|---|------|------|-------|------|---------|--------|
| 4 | 0.35 | 0.13 | 0.045 | 0.44 | 81.318  | 1.100  |
| 3 | 0.66 | 0.24 | 0.158 | 0.63 | 106.060 | 2.100  |
| 3 | 0.66 | 0.24 | 0.158 | 0.74 | 136.994 | 2.4667 |
| 3 | 0.66 | 0.24 | 0.158 | 0.71 | 112.373 | 2.367  |
| 3 | 0.39 | 0.24 | 0.094 | 0.54 | 106.837 | 1.800  |
| 3 | 0.39 | 0.24 | 0.094 | 0.50 | 96.153  | 1.667  |
| 2 | 0.32 | 0.23 | 0.117 | 0.63 | 81.475  | 2.100  |
| 2 | 0.32 | 0.23 | 0.074 | 0.35 | 86.956  | 1.750  |
| 2 | 0.44 | 0.18 | 0.079 | 0.56 | 136.363 | 2.800  |
| 2 | 0.44 | 0.18 | 0.079 | 0.37 | 79.166  | 1.850  |
| 2 | 0.44 | 0.18 | 0.079 | 0.51 | 97.222  | 2.550  |
| 2 | 0.20 | 0.22 | 0.044 | 0.39 | 106.818 | 1.950  |
| 2 | 0.20 | 0.22 | 0.044 | 0.41 | 118.181 | 2.050  |
| 1 | 0.20 | 0.23 | 0.046 | 0.22 | 102.740 | 2.200  |
| 1 | 0.20 | 0.23 | 0.046 | 0.20 | 97.826  | 2.000  |
| 1 | 0.20 | 0.23 | 0.046 | 0.14 | 69.560  | 1.400  |
| 1 | 0.20 | 0.23 | 0.046 | 0.23 | 104.348 | 2.300  |
| 1 | 0.23 | 0.18 | 0.042 | 0.21 | 99.034  | 2.100  |
| 1 | 0.23 | 0.18 | 0.042 | 0.25 | 111.11  | 2.500  |

#### - Interprétation des résultats :

Nous remarquons que la résistance à la rupture en traction de la fibre varie de 86.959 à 182.857 Mpa. En ce qui concerne les résultats écrits en rouge qui sont anormaux, ils s'expliquent du fait qu'il y a eu glissement entre les fibres pendant l'essai, d'où les faibles résistances à la traction.

Il nous est difficile de savoir en se basant sur les résultats obtenus, si la longueur et la section de la fibre influent sur sa résistance en traction, et cela pour la raison suivante : Des glissements entre les fibres peuvent se produire sans qu'on s'en aperçoive, ce qui induirait notre interprétation en erreur.

C'est pourquoi il serait préférable de trouver un moyen d'extraire la fibre et non pas un faisceau de fibre pour la tester à la traction. Nous pourrions à ce moment faire varier le paramètre longueur pour savoir s'il influe sur la résistance.

Nous pensons que les résultats obtenus lors des essais de traction sur la fibre sont assez précis, car la machine utilisée au niveau de la CELPAP est faite spécialement pour les fibres et en particulier pour les fibres de alfa.

Nous ne pouvons pas tracer la courbe contrainte/déformation de la fibre et calculer ainsi son module élastique avec précision, parce que la machine utilisée ne nous donne que les déformations à la rupture, mais en se référant à la littérature qui traite des bétons de fibres de bambou [4], nous pensons que la fibre de palmier a un comportement similaire à celle du bambou et cela pour deux raisons :

- Les deux fibres sont des fibres naturelles à base de cellulose.

- Nous avons remarqué à vue d'œil, que la rupture de la fibre de palmier était brutale, sans allongement important ce qui est vérifiée puisque l'allongement varie de 1.10 à 2.55 % de la longueur totale de la fibre.

Nous pesons une quantité de fibre à l'état sec que nous plongeons entièrement dans le pycnomètre rempli d'eau pour calculer le volume des fibres. Nous effectuons trois mesures.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

| N° | Poids (gr) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Masse spécifique (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----|------------|---------------------------|--|
| 1  | 48.58      | 70.00                     | 0.694                                  |
| 2  | 36.85      | 67.00                     | 0.550                                  |
| 3  | 73.89      | 142                       | 0.520                                  |

Donc la masse spécifique varie de 0.520 à 0.694 gr/cm<sup>3</sup>

## 2 – Masse volumique :

Nous calculons la masse volumique de la manière la plus simple, en remplissant une quantité de fibres sèches non compactées et mesurant le volume qu'elles occupent dans une boîte, nous effectuons à cet effet quatre essais.

| N° | Poids (gr) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Masse volumique (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----|------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1  | 45.19      | 540.50                    | 0.083                                 |
| 2  | 82.50      | 697.00                    | 0.118                                 |
| 3  | 60.20      | 654.34                    | 0.092                                 |
| 4  | 70.18      | 649.81                    | 0.108                                 |

Donc la masse volumique varie de 0.083 à 0.118 gr/cm<sup>3</sup>

## V - propriétés mécaniques de la fibre :

### V - 1 Essais à la traction :

Des tests de traction nous permettent de déterminer les propriétés mécaniques des fibres en fonction de différentes longueurs et différentes sections. Les essais ont été faits au niveau de la société CELPAP à Baba-Ali, et sont donnés dans le tableau représenté ci-dessous :

| Longueur<br>En cm | Largeur<br>En mm | Epaisseur<br>En mm | Sections<br>en mm <sup>2</sup> | Longueur<br>De rupture<br>en mm | Contrainte<br>de rupture en<br>MPA | Allongement<br>à la rupture<br>% |
|-------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 6                 | 0.50             | 0.21               | 0.105                          | 1.47                            | 182.857                            | 2.450                            |
| 6                 | 0.62             | 0.24               | 0.149                          | 1.38                            | 133.736                            | 2.300                            |
| 6                 | 0.59             | 0.18               | 0.106                          | 1.34                            | 153.484                            | 2.233                            |
| 6                 | 0.40             | 0.32               | 0.128                          | 0.99                            | 109.375                            | 1.650                            |
| 5                 | 0.21             | 0.18               | 0.038                          | 0.58                            | 89.947                             | 1.160                            |
| 5                 | 0.64             | 0.20               | 0.128                          | 0.93                            | 121.187                            | 1.860                            |
| 5                 | 0.27             | 0.20               | 0.054                          | 0.90                            | 168.518                            | 1.800                            |
| 4                 | 0.48             | 0.20               | 0.096                          | 0.56                            | 106.25                             | 1.400                            |
| 4                 | 0.48             | 0.20               | 0.096                          | 0.79                            | 97.916                             | 1.975                            |
| 4                 | 0.38             | 0.23               | 0.087                          | 0.82                            | 123.569                            | 2.050                            |
| 4                 | 0.38             | 0.23               | 0.087                          | 0.71                            | 118.993                            | 1.775                            |



En supposant que la fibre de palmier a un comportement linéaire de type fragile, nous nous permettons de donner une valeur approximative du module d'élasticité qui varie de **4.79 à 15.50 KN/mm<sup>2</sup>**.

### V - 2 Comparaison de la fibre de palmier avec les principales fibres naturelles :

Nous donnons ci-dessous un tableau comparatif des propriétés les plus importantes des différentes fibres végétales ayant fait l'objet de recherches expérimentales.

| Fibres         | Diamètre<br>Mm | Longueur<br>Mm | Masse<br>volumique<br>Kg/m <sup>3</sup> | Résistance<br>en traction<br>N/mm <sup>2</sup> | Allongement<br>%  | Absorpti<br>on d'eau<br>% | Teneur<br>en eau<br>% | Module<br>d'élasticité<br>KN/mm <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|----------------|---|--|-------------------|---------------------------|-----------------------|--|
| <b>Palmier</b> |                | <b>10 – 60</b> | <b>83 – 118</b>                         | <b>80 – 182</b>                                | <b>1.1 – 2.55</b> | <b>130 – 205</b>          |                       | <b>4.8 à 15.5</b>                            |
| Noix de coco   | 0.1 – 0.40     | 50 – 350       | 145 – 280                               | 120 – 200                                      | 10 – 25           | 130 – 380                 | -                     | 19 – 26                                      |
| Sisal          | -              | -              | 700 – 800                               | 280 – 568                                      | 3 – 5             | 60 – 70                   | -                     | 13 – 26                                      |
| Canne à sucre  | 0.2 – 0.40     | 50 – 300       | -                                       | 170 – 290                                      | -                 | 70 – 75                   | 15 – 20               | 15 – 19                                      |
| Bambou         | 0.38           | -              | -                                       | 442  | -                 | -                         | -                     | 37   |
| Jute           | 0.1 – 0.20     | 1.8 – 3.0      | -                                       | 250 – 350                                      | 1.5 – 1.9         | -                         | -                     | 26 – 32                                      |
| Lin            | -              | 500            | -                                       | 1000   | 1.8 – 2.2         | -                         | -                     | 100  |

**Tableau comparatif des propriétés des fibres végétales.**

Nous avons introduit dans le tableau les différentes caractéristiques de notre fibre pour la comparer avec les autres fibres naturelles.

- La fibre de palmier Doum a la plus faible résistance en traction et le plus faible module d'élasticité ;
- Qu'elle a un des plus importants taux d'absorption d'eau ;
- Qu'elle a une faible masse volumique ;
- Que l'allongement est pratiquement égale à la fibre de jute et de lin, mais qui est inférieure à la fibre de sisal et de noix de coco.

## VI - Comportement de la fibre au sein d'une matrice type béton de ciment :

### VI - 1 Durabilité des fibres de palmier dans un béton frais :

Nous pensons que le ciment Portland altère la fibre, c'est à dire qu'il attaque la consolidation du matériau en détachant les liens celluloses, par conséquent, incapable de supporter des charges.

C'est pourquoi, nous entreprenons une étude sur les fibres dans un béton frais en procédons de la sorte :

- Nous utilisons des fibres dont la longueur moyenne est de **2 cm**.
- On prépare deux (02) groupes échantillons de fibres A et B.
- Chaque groupe est formé de cinq (05) échantillons composés chacun de trois (03) fibres.
- Les échantillons du groupe A sont testés à la traction sans traitement au préalable, tandis que les échantillons du groupe B sont immergés dans un mélange d'eau et ciment avec les proportions de 20 ml d'eau et de 10 gr de ciment en variant les durées.
- Les échantillons B1, B2, B3, B4 et B5 sont traités pendant 3, 6, 24, 30 et 48 heures respectivement dans des tubes à essais scellés qui sont placés dans un agitateur mécanique pour éviter la décantation du ciment.

Une fois le temps écoulé, on laisse les échantillons du groupe B sécher pour les tester à la traction.

Les résultats de la traction des échantillons sont donnés dans le tableau représenté ci-dessous :

| Groupe N° | Résistance à la traction (Mpa) |          | Amélioration en % |
|-----------|--------------------------------|----------|-------------------|
|           | Groupe A                       | Groupe B |                   |
| 1         | 112.5                          | 152.775  | 35.80             |
| 2         | 98.69                          | 139.53   | 41.38             |
| 3         | 105.87                         | 131.98   | 24.66             |
| 4         | 119.85                         | 134.96   | 12.58             |
| 5         | 125.35                         | 139      | 10.88             |

#### - Interprétation des résultats :

En comparant les résultats obtenus de la résistance à la traction des échantillons du groupe A et B, nous voyons clairement que dans tous les cas, il y a une augmentation de la résistance des échantillons du groupe B. Cette augmentation varie de 10 à 42 % de l'échantillon non traité.

Nous supposons que la présence d'alcaline dans un béton n'affaiblit et n'endommage pas les fibres comme nous l'avions supposé au début de l'étude.

Toutefois, les raisons précises de l'amélioration en résistance des échantillons traités demande une plus grande investigation.

#### VI - 2 Durabilité des fibres de palmier dans un béton durci :

Nous savons que la fibre végétale a une mauvaise tenue dans le temps, c'est pourquoi, il serait intéressant de la protéger en la recouvrant d'un enduit adéquat et faire des essais pour connaître la durabilité de ces fibres protégées quand elles sont mélangées au béton.

En raison du temps et du matériel dont nous disposons, ces essais ne pourront être faits, c'est pourquoi nous donnons les résultats obtenus par des chercheurs d'une université en Arabie Saoudite [3] sur le palmier dattier qui a pratiquement les mêmes caractéristiques mécaniques et physiques que le palmier Doum.

Le meilleur résultat est obtenu grâce aux fibres enduites par **du vernis** comparé aux fibres enduites par **du bitume et du soufre**.

#### VII - Conclusion :

La détermination des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de la fibre de palmier est très importante. Cela nous permettra de comprendre son comportement au sein de la matrice pour interpréter concrètement les résultats des essais.

Nous devons maintenant, penser à choisir les autres composants du béton de fibres qui sont les granulats, l'eau et le ciment en fonction des fibres de sorte à ne les pas abîmer.

# **Chapitre III**

## **LES CHOIX DES COMPOSANTS DU BETON**

# LE CHOIX DES COMPOSANTS DU BETON

## I - Introduction :

Les granulats constituent le squelette granulaire, en principe inerte du béton et, agglomérés par le liant, il doit être le plus compact et le plus durable possible.

Cette exigence implique des conditions de choix du matériau.

## II - Le ciment :

C'est un liant qui a la caractéristique d'être constitué par des poudres fines formant avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise, puis de durcir progressivement d'où le nom de liant hydraulique.

Dans le cadre de notre étude, nous utiliserons un ciment CPJ 45 à base de Clinker qui est obtenue par la cuisson à haute température (1450°) et broyage d'un mélange minéral. (Calcaire + Argile ).

Le Clinker que nous utilisons et qui est obtenu par broyage avec un peu de sulfate de chaux (le gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des portlands qui confèrent au ciment de ce groupe leurs propriétés et caractéristiques.

Nous utiliserons pour notre étude un ciment CPJ 45 qui contient au moins 73% de Clinker, 7% de gypse et 14 à 20 % d'ajout et dont les caractéristiques chimiques et physiques sont données dans les tableaux ci-dessous :

**II - 1 Analyse physico-chimique du mois de mars 1998 :**

| Eléments                       | Max % | Min % | Moy % | Ecart-type |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 22.20 | 18.54 | 19.82 | 0.73       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.81  | 4.27  | 5.32  | 0.32       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.67  | 2.92  | 3.23  | 0.16       |
| CaO                            | 63.03 | 58.71 | 60.68 | 1.19       |
| MgO                            | 1.04  | 0.75  | 0.97  | 1.13       |
| Na <sub>2</sub> O              | -     | -     | -     | -          |
| K <sub>2</sub> O               | -     | -     | -     | -          |
| P.A.F                          | 4     | 1.64  | 2.59  | 0.71       |
| R.I                            | 6.85  | 1.44  | 4.14  | 1.28       |
| SO <sub>3</sub>                | 2.87  | 1.08  | 1.73  | 0.41       |
| CaO L                          | 1.85  | 0.84  | 1.22  | 0.28       |
| S.S.B                          | 4335  | 3295  | 3688  | 260.90     |
| Densité                        | 1095  | 985   | 1043  | 27.57      |
| Expans                         | 3     | 0     | 0.72  | 0.74       |
| D.Prise                        | 3h50  | 2h30  | 3h03  | 0.29       |
| F.Prise                        | 5h30  | 4h30  | 5h02  | 0.33       |

**Les caractéristiques physiques et chimiques du ciment CPJ 45****II - 2 Résistances mécaniques :****Flexion (Mpa)**

| Durée    | Max  | Min  | Moy  | Ecart-type |
|----------|------|------|------|------------|
| 02 Jours | 5.37 | 2.66 | 3.82 | 0.86       |
| 07 Jours | 7.98 | 4.97 | 6.61 | 0.79       |
| 28 Jours | 9.24 | 7.27 | 8.23 | 0.51       |

**Compression (Mpa)**

|          | Max   | Min   | Moy   | Ecart-type |
|----------|-------|-------|-------|------------|
| 02 Jours | 21.10 | 10.10 | 13.80 | 3.47       |
| 07 Jours | 36.40 | 22.60 | 28.50 | 4.42       |
| 28 Jours | 44.30 | 35.60 | 38.80 | 2.49       |

**III - Le sable :**

Les sables constituent un granulat essentiel dans la fabrication du béton, pour cela une bonne granulométrie bien étagée est nécessaire en évitant tous les grains fins au-dessous de 0.400 mm qui provoquerait pour la suite immédiate ou lointaine, des inconvénients relatifs à la gélivité, la perméabilité et la résistance du béton.

Dans notre étude nous utilisons un sable qui provient des rivières d'Akbou qui doit tenir compte des caractéristiques suivantes :

**III - 1 Influence de la forme des grains :**

La forme des grains est essentielle pour des propriétés telles que la compacité, l'angle de frottement.

Les sables de concassage (sable de carrière) aux formes anguleuses avec arêtes vives sont à éviter parce qu'elles abîmeraient les fibres de palmiers d'une part, et diminueraient l'ouvrabilité du béton de l'autre.

C'est pour cela que nous avons choisi un sable naturel (Rivière) ayant subi une attrition donnant au grain une forme arrondie pour confectionner notre béton de fibres.

### **III - 2 Propreté du sable :**

La propreté d'un sable est en rapport avec le pourcentage de matière de nature étrangère qu'il contient qui pourraient former des édifices cohérents autour des grains. Cela aura pour effet de diminuer l'adhérence Sable-Ciment, deux essais sont effectués à cet effet.

#### **III - 2 - 1 Essai de l'équivalent sable :**

On ajoute une certaine quantité de sable dans une solution lavante, puis on laisse reposer pendant 20 minutes. La hauteur du dépôt de sable visible étant  $h_2$  et  $h_1$  celle de la hauteur totale y compris le floculat, l'équivalent sable est égal à  $ES = 100.(h_1/h_2)$ .

Après avoir effectué trois essais, nous trouvons que **l'ES = 74%**

Nous avons donc affaire à un sable propre à faible pourcentage de fines convenant parfaitement à un béton de haute qualité selon la norme NF P 18-598 sur la fraction 0/5 mm.

#### **III - 2 - 2 L'essai du bleu de méthylène :**

Il permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à absorber du bleu de méthylène. L'appareillage est illustré à l'annexe photos, N° 3.

Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments.

On appelle (valeur de bleu) des fines, la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100 grammes de fines.

Lors de notre test, **la valeur de bleu** a été égale à **0.05**, cela signifie que le sable contient très peu de matière argileuse.

### **III - 3 Masse spécifique :**

La masse spécifique est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains. La détermination de celle-ci se fait au moyen du pycnomètre.

$$\delta = 2.64 \text{ t/m}^3$$

**III - 4 Analyse granulométrie :**

Poids de l'échantillon = 1116,2 gr

Sable 0/5

Origine: Akbou

**Granulométrie 0/5**

| Dimension des tamis (mm) | Poids partiel (gr) | Poids cumulés en refus (gr) | Refus cumulés % | Poids partiels % | Tamisât % |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| 5                        | 0                  | 0                           | 0               | 0                | 100       |
| 4                        | 93                 | 93                          | 8               | 8                | 92        |
| 3.15                     | 209.5              | 302.5                       | 27.100          | 19.10            | 72.9      |
| 2.5                      | -                  | -                           | -               | -                | -         |
| 2                        | 134.4              | 436.9                       | 39.142          | 12.040           | 60.858    |
| 1.25                     | 118.10             | 554.80                      | 49.70           | 10.58            | 50.278    |
| 1                        | 100.70             | 655.5                       | 58.744          | 9.022            | 41.256    |
| 0.5                      | 233.2              | 888.9                       | 79.636          | 20.892           | 20.364    |
| 0.315                    | 100.8              | 989.5                       | 88.667          | 9.03             | 11.333    |
| 0.2                      | 50.2               | 1059.9                      | 93.164          | 4.497            | 6.836     |
| 0.080                    | 58.4               | 1089.3                      | 98.396          | 1.604            | 1.604     |

**III - 5 Module de finesse :**

Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100ème de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :

$$0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5$$

C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables, notre sable dont la courbe granulométrique est tracée ci-dessus a pour module de finesse MF

Refus sur le tamis d = 0.160 est de 94%  
 Refus sur le tamis d = 0.315 est de 85.5%  
 Refus sur le tamis d = 0.630 est de 71%  
 Refus sur le tamis d = 1.250 est de 50%  
 Refus sur le tamis d = 2.500 est de 26  
 Refus sur le tamis d = 5.000 est de 0  
 Total = 326.5  $\Rightarrow$  MF = 3.26

Ce résultat correspond à un sable à utiliser pour la recherche de résistance élevée, mais on aura une moins bonne ouvrabilité.

**IV - Les gravillons :**

Nous confectionnons notre béton avec des gravillons de diamètre maximal de 15mm en s'assurant d'avoir une bonne granulométrie pour éliminer les vides dans le béton.

Les paramètres importants pour le choix des gravillons sont :

- La résistance intrinsèque du gravillon ;
- La forme ;
- La propreté ;
- La porosité.

Dans notre étude les gravillons sont de type calcaire concassé, de dimension 3/8 et 5/15 qui proviennent de la centrale de concassage de l'ENGOA de Mohamadia, celle-ci ramène ces blocs de pierre de la carrière JOBERT d'Alger.

Ces gravillons ont été sélectionnés en se référant aux normes françaises NF P 18-101.

#### IV - 1 Propreté des gravillons :

Les gravillons doivent être rigoureusement propres, c'est à dire dépourvus de gangue superficielle ou même d'une pellicule de matière pouvant nuire à l'adhérence qui est à la base de la bonne tenue d'un béton.

Nous effectuons un essai de propreté qui consiste à mesurer le poids  $P_1$  d'un échantillon de gravillon avant de le laver, nous récupérons le refus  $P_2$  au tamis 0.5 mm.

$$\text{Pourcentage de propreté} = 100 [(P_1 - P_2)] / P_1 \dots\%$$

- Gravillon 3/8  $\Rightarrow$  **pourcentage de propreté = 0.74 %**
- Gravillon 8/15  $\Rightarrow$  **pourcentage de propreté = 0.35 %**

Selon le mode opératoire par la norme NF P 18, le seuil est fixé à 2 %, donc c'est ce sable est propre.

#### IV - 2 Essai de l'attrition et de la fragmentation par choc :

La résistance est une caractéristique très importante des gravillons en raison des charges que les ouvrages ont à supporter.

Cette résistance est déterminée par les deux essais suivants :

##### IV - 2 - 1 Essai Los Angeles : (LA)

Cet essai estime la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il se pratique sur les classes granulaires 4/6.3 ou 6.3/10 ou 10/16, on place un échantillon de 5 Kg de granulats et 7 à 11 boulets de 417 gr dans un tambour qui tourne selon un mode opératoire précis. On récupère ensuite le refus P au tamis 1.6 mm.

$$\text{Le coefficient LA} = 100 \cdot [(5000 - P) / 5000]$$

La machine utilisée est illustrée à l'annexe photos, N° 4.

- LA (gravillon 4/6.3) = 30.250 %**
- LA (gravillon 6.3/10) = 29.125 %**
- LA (gravillon 10/16) = 28.756 %**



Selon le mode opératoire par la norme NF P 18-573, le seuil fixé est à 40.....  $LA \leq 40$ .

Donc ces gravillons sont bons pour du béton hydraulique.

#### IV - 2 - 2 Essai d'une Micro Deval en présence d'eau :

C'est un essai d'attrition qui se pratique sur des gravillons 4/6.3, 6.3/10 et 10/16. 500 gr de gravillon sont placés avec une charge de 2 à 5 Kg dans une jarre cylindrique remplie d'eau. on fait tourner pendant 02 heures et on récupère le refus à 1.6 mm.

Le coefficient MDE =  $100 \cdot [(500-P)/500]$ .

La machine utilisée est illustrée à l'annexe photos, N° 5.

**MDE (gravillon 4/6.3) = 23.75 %**

**MDE (gravillon 6.3/10) = 24.10 %**

**MDE (gravillon 10/16) = 23.88 %**

Selon le mode opératoire par la norme NF P 18-572 le seuil est fixé à 35.....  $MDE \leq 35$ .

Donc ces gravillons sont bons pour du béton hydraulique.

#### IV - 3 Forme des gravillons :

Les gravillons ne doivent pas contenir une grande proportion d'éléments de forme défectueuse (plaquettes ou aiguilles) mais plutôt des grains en forme cubique pour un meilleur arrangement des grains qui donneront un béton plus maniable et donc une meilleur compacité.

Pour cela, la forme des gravillons est appréciée par la mesure du coefficient d'aplatissement défini dans la norme NF P 18-561.

Le seuil correspond est fixé à 30% .....  $A \leq 30\%$ .

Nous avons trouvé pour nos gravillons un coefficient  $A=28.15$ , donc la forme est satisfaisante pour un béton.

#### IV - 4 Poids spécifique :

La masse spécifique est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains. La détermination de celle-ci se fait au moyen du pycnomètre.

- Gravillon 3/8  $\Rightarrow \delta = 2.63 \text{ t/m}^3$
- Gravillon 8/15  $\Rightarrow \delta = 2.66 \text{ t/m}^3$

**IV - 5 Granulométrie :**

- Du gravillon 3/8.
  - Poids de l'échantillon : 2171 gr
  - Origine: centrale de l'ENGOA.

**Granulométrie 3/8**

| Dimension des tamis (mm) | Poids partiel (gr) | Poids cumulés en refus (gr) | Refus cumulés % | Poids partiels % | Tamisât % |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| 10                       | 29.2               | 29.2                        | 1.345           | 1.345            | 98.655    |
| 8                        | 47.7               | 76.9                        | 3.542           | 2.197            | 96.458    |
| 6.3                      | 268.5              | 345.4                       | 15.910          | 12.367           | 84.090    |
| 5                        | 592.6              | 938.0                       | 43.206          | 27.296           | 56.794    |
| 4                        | 321.2              | 1259.2                      | 58.00           | 14.80            | 42.000    |
| 3.15                     | 780.8              | 2040                        | 93.966          | 35.96            | 6.034     |
| 2                        | 99.2               | 2139.2                      | 98.535          | 4.570            | 1.465     |
| 1                        | 23.1               | 2162.3                      | 99.600          | 1.064            | 0.400     |

- Du gravillon 8/15.
  - Poids de l'échantillon : 3647.1 gr
  - Origine : centrale de l'ENGOA.

**Granulométrie 8/15**

| Dimension des tamis (mm) | Poids partiel (gr) | Poids cumulés en refus (gr) | Refus cumulés % | Poids partiels % | Tamisât % |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| 20                       | 0                  | 0                           | 0               | 0                | 100       |
| 16                       | 0                  | 0                           | 0               | 0                | 100       |
| 12.5                     | 77.1               | 77.1                        | 2.12            | 2.12             | 97.88     |
| 10                       | 980.5              | 1057.6                      | 29.00           | 26.89            | 71        |
| 8                        | 1497.7             | 2555.3                      | 70.06           | 41.06            | 29.94     |
| 6.3                      | 672.4              | 3227.7                      | 88.50           | 18.44            | 11.5      |
| 5                        | 242.3              | 3470                        | 95.15           | 6.65             | 4.86      |
| 4                        | 106                | 3576                        | 90.05           | 2.91             | 1.95      |

**V - Eau de gâchage :**

L'eau est, au même titre que le ciment et les granulats, l'un des constituants du béton. Elle assure d'une part, l'hydratation du ciment et participe à la cohésion du matériau durci, et de l'autre, elle confère au béton une plasticité qui permet son écoulement et son moulage.

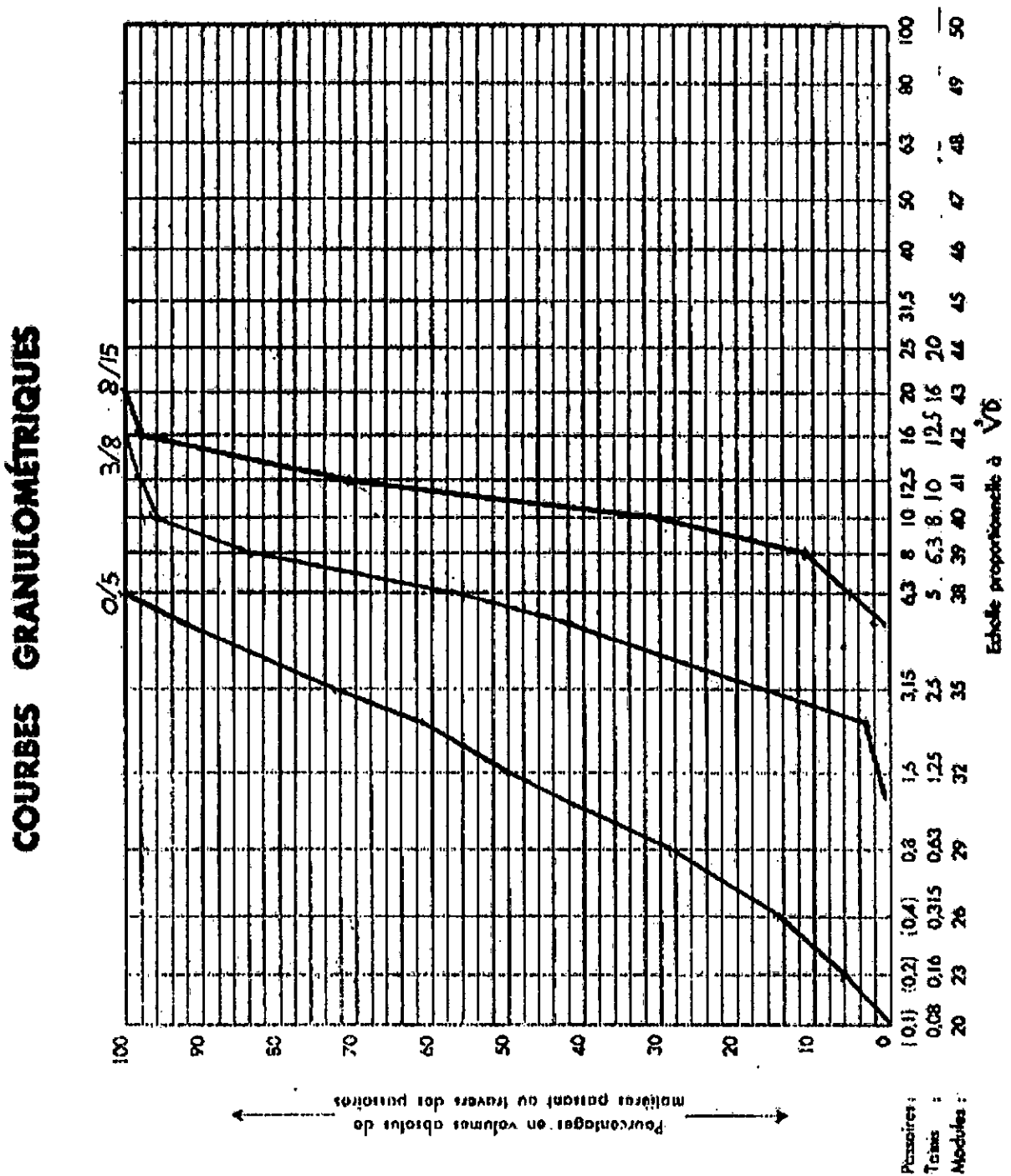
La quantité d'eau de gâchage ne doit être ni en excès ni en insuffisance, par ce qu'elle entraînerait une baisse de la résistance du béton.

Au point de vue qualitatif, l'eau doit être aussi exempte que possible d'impuretés telles que l'argile ou les matières humides en suspension, et elle ne doit pas contenir non plus de sels minéraux.

Au point de vue de la quantité, elle intervient par un rapport E/C que nous prenons égale à 0.55 pour notre béton témoin et qui variera pour le béton de fibres selon l'apport en fibres.

**VI - Courbes granulométriques :**

Nous traçons ci-dessous les courbes granulométriques du sable 0/5 et des gravillons 3/8 et 8/15.



# **Chapitre IV**

## **ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON DE FIBRES**

# ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON DE FIBRES

## I - Programme de l'étude :

L'objectif premier est de situer le comportement d'un béton de fibres de palmier par rapport à un **béton blanc** c'est à dire non renforcé, afin de quantifier l'apport des fibres.

Pour cette étude, nous utiliserons des fibres avec des longueurs moyennes de **2 cm** et avons choisi la méthode de Bolomey et de Vallette pour l'étude de la composition du béton.

Trois formulations de béton de fibres seront étudiées avec des dosages en fibres s'élevant à **15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>** en gardant volontairement les rapports E/C et G/S constants.

Pour chaque formulation, nous confectionnerons 06 éprouvettes cylindriques  $\phi 16 \times 32$  cm et 03 éprouvettes prismatiques  $10 \times 10 \times 40$  cm (h, b, L) de béton de fibres.

Nous avons confectionné la même journée, le même nombre d'éprouvettes de béton blanc sauf que cette fois-ci, nous aurons une éprouvette prismatique en moins par formulation, parce qu'il nous a manqué un moule. (Annexe photos, N°7 et N°8).

Trois (03) types d'essais seront effectués pour contrôler nos éprouvettes, les essais de compression, de traction par fendage sur les éprouvettes cylindriques et l'essai de traction par flexion sur les éprouvettes prismatiques. Les mesures sont effectuées à 14 jours.

Une seconde étude a été réalisée en diminuant les dosages en fibres dans le béton, suite aux mauvais résultats obtenus avec les premiers dosages. Les essais réalisés sont expliqués en détail dans la partie quatre de ce chapitre.

## II - Définition des essais :

### II - 1 - Essai de compression :

De la norme NF P 18-406, nous retiendrons pour cet essai les points suivants :

- Les extrémités des éprouvettes sont surfacées en employant un ciment à prise rapide.

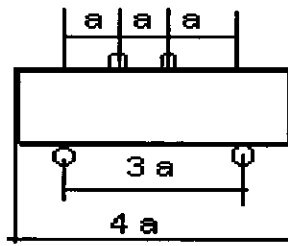
- L'éprouvette doit être centrée entre les plateaux de la presse.

Nous retiendrons pour charge de rupture la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et nous calculerons la contrainte en Mpa par la relation  $\sigma = P/S$  ou P est en meganewtons et S la surface de compression de l'éprouvette exprimée en mètres carrés.

## II - 2 - Essai de traction par flexion :

De la norme NF P 18-401, il convient de retenir les points suivants :

- Les éprouvettes sont des prismes de section carrée et d'élanement 4, c'est à dire des éprouvettes  $10 \times 10 \times 40$  cm (b, h, L).
- L'appareil de chargement est réalisé conformément au croquis représenté ci-dessous :



Si la charge de rupture est F (en newtons) et a le côté de la base en mm, la contrainte de rupture en traction par flexion est :

$$\sigma_t = 1.8 F/a^2$$

Ceci suppose que la contrainte calculée par la formule d'élasticité  $\sigma_t = Mv/I$  est affectée d'un coefficient 0,6.

## II - 3 - Essai de traction par fendage : (essai brésilien) :

La norme NF P 18-408 précise en particulier les dispositions de mise en charge.

L'éprouvette est placée horizontalement entre les plateaux de la presse et dans l'axe ; le contact des génératrices supérieures et inférieures avec les plateaux est assuré par l'intermédiaire de bandes de mesure en contre-plaqué de 5 mm d'épaisseur.

$$\sigma_t = 0,637 F/(d.h)$$

- avec F = charge de rupture en newtons,
- avec d = diamètre de l'éprouvette, en mm ;
- avec h = hauteur de l'éprouvette, en mm.

### III - Etude du comportement mécanique sur des bétons renforcés avec 15, 20 et 25 Kg de fibres/m<sup>3</sup> :

#### III - 1 Préparation des éprouvettes :

##### III - 1 - 1 Méthodes de composition du béton :

Les méthodes proposées sont des méthodes de granulation de type continu qui consistent à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton aux qualités désirées.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi en premier la méthode de Faury avec laquelle nous avons obtenu de moyennes résistances en compression.

C'est pourquoi, nous avons décidé de changer de méthode et avons choisi de tirer la composition de notre béton grâce au fuseau de Bolomey et de Vallette, ce qui nous a permis d'obtenir un béton avec des résistances à la compression correct. (Annexe2)

Nous donnons ci-dessous la composition du béton obtenu grâce au fuseau de Bolomey et de Vallette.

#### 1 - Composition du béton blanc :

| Constituants          | Poids (Kg) |
|-----------------------|------------|
| Ciment CPJ 45         | 350        |
| Eau (E <sub>1</sub> ) | 192.5      |
| Sable 0/5 mm          | 550.04     |
| Gravillon 3/8 mm      | 273.98     |
| Gravillon 8/15 mm     | 1016.05    |

**Tableau 1.** Composition du béton blanc (pour 1 m<sup>3</sup>)

G : poids des gravillons

S : poids du sable

G/S = 2.34

E<sub>1</sub> : poids de l'eau de gâchage

C : poids du ciment

E<sub>1</sub>/C = 0.55

#### 2 - Composition du béton de fibres :

L'étude du comportement du béton de fibres se fera sous diverses sollicitations pour trois dosages différents de fibres 15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>. Ces dosages ont été choisis, en se référant à la littérature des bétons de fibres métalliques [5], puisque nous n'avons pas trouvé de recommandation des articles traitant les bétons de fibres naturelles.

Cette littérature nous recommandait des dosages variant de 20 à 40 Kg de fibres/m<sup>3</sup>. Connaissant la masse volumique de la fibre de palmier et par conséquent le volume important qu'aurait pu occuper les fibres, nous avons décider de réduire ces dosages à 15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>.

L'introduction des fibres se fera à la fin du cycle de malaxage en gardant la même composition que le béton blanc, c'est à dire, en gardant les rapports  $G/S = 2.34$  et  $E_1/C = 0.55$  constants et en ajoutant une quantité d'eau  $E_2$  supplémentaire due à l'absorption des fibres.

Le choix de garder les rapports  $G/S$  et  $E_1/C$  constants s'est fait dans le but de connaître l'influence de la longueur de la fibre dans le béton.

Nous donnons la formulation de ce béton dans le tableau 2 ci-dessous :

| Constituants      | Poids (Kg)  |
|-------------------|-------------|
| Ciment CPJ 45     | 350         |
| Eau ( $E_1$ )     | 192.5       |
| Sable 0/5 mm      | 550.04      |
| Gravillon 3/8 mm  | 273.98      |
| Gravillon 8/15 mm | 1016.05     |
| Fibres de palmier | 15 à 25     |
| Eau ( $E_2$ )     | 22.5 à 37.5 |

**Tableau 2.** Composition du béton de fibres (pour 1 m<sup>3</sup>)

$E_2$  eau absorbée par les fibres = Poids des fibres introduites

$E_1$  eau de gâchage

$E_1/C = 0.55$

$G/S = 2.34$

### III -1 - 2 Le malaxage :

Nous introduisons les fibres à l'état sec dans le malaxeur vers la fin du cycle de malaxage des divers constituants du béton pour ne pas abîmer les fibres.

L'homogénéisation des constituants est réalisée grâce à un mélangeur caractérisé de la sorte (illustré à l'annexe photos, N° 1):

- Type de mélangeur : malaxeur dont l'action de brassage est forcée.
- Position de travail : axe vertical.
- Dispositif de malaxage : bras à palettes.
- Contenance du malaxeur : 50 litres.
- Vitesse de malaxage : 50 tours/min
- Durée de malaxage :

| Les constituants   | Durée de malaxage ( $\pm$ 15 secondes) |
|--------------------|--|
| Gravillon et sable | 02 minutes                             |
| Ciment             | 1.5 minutes                            |
| Fibres             | 04 minutes                             |
| Eau                | 02 minutes                             |



### III - 1 - 3 Mise en œuvre des éprouvettes :

Nous confectionnons deux types d'éprouvettes :

- Des éprouvettes cylindriques  $\phi 16 \times 32$  cm.
- Des éprouvettes prismatiques  $10 \times 10 \times 40$  cm (b, h, L).

Pour ces éprouvettes, nous coulons le béton de fibres en 05 couches. Nous piquons chaque couche avec une tige en acier de 16 mm à raison de 35 coups.

Ces valeurs ont été choisies après avoir effectué plusieurs essais de piquages sur les bétons de fibres.

Les moules seront vibrés à chaque couche en les tapant à l'aide d'un marteau pour compléter l'effet du piquage.

Le béton témoin subit quant à lui, un coulage en 03 couches avec un piquage de 25 coups par couche et une vibration à l'aide d'un marteau.

### III - 1 - 4 Mesures et contrôle de l'ouvrabilité :

La mesure de l'ouvrabilité se fera à l'aide de l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams.

#### - Affaissement au cône d'Abrams :

Un moule en tôle tronconique ( $D = 20$  cm,  $d = 10$  cm,  $h = 30$  cm) est rempli de béton, nous attendons une minute après avoir soulevé le moule pour mesurer l'affaissement. L'essai est illustré à l'annexe photos, N° 14.

Nous donnons les résultats dans le tableau suivants :

| Différentes formulations                | Affaissement |
|---|--------------|
| Béton blanc                             | 3.5 cm       |
| Béton de fibres (15 Kg/m <sup>3</sup> ) | 2.2 cm       |
| Béton blanc                             | 3.6 cm       |
| Béton de fibres (20 Kg/m <sup>3</sup> ) | 2.0 cm       |
| Béton blanc                             | 3 cm         |
| Béton de fibres (25 Kg/m <sup>3</sup> ) | 1.5 cm       |

Le béton blanc et le béton de fibres ont un affaissement compris entre 0 et 4 cm, c'est donc un béton de consistance très ferme et cela en se référant à la norme NF-P 18-451.

### III - 1 - 5 Conservation des éprouvettes :

En ce qui concerne les éprouvettes du béton blanc, elles ont été retirées de la cuve (illustrée à l'annexe photos, N° 2) un jour avant les essais, par contre les éprouvettes du béton de fibres ont été retiré cinq jours avant les essais et cela pour la raison suivante :

Nous avons remarquer que les éprouvettes du béton de fibres restaient humides et mettaient du temps à sécher (annexe photos N°9 et N°10). Nous avons décidé dès lors, de les retirer trois jours avant les

essais, mais après l'écrasement d'une éprouvette nous avons vu que le béton était encore bien humide, c'est pour cette raison que nous avons décidé de les retirer cinq jours avant les essais.

Il serait peut-être préférable de laisser sécher les éprouvettes de béton de fibres à l'air ambiant.

### **III - 1 - 6 Surfaçage des éprouvettes cylindriques :**

Le surfaçage des extrémités d'une éprouvette cylindrique en employant un mélange de soufre et de sable est une opération nécessaire lors de l'essai de compression et ceci dans le but d'obtenir une planéité parfaite des faces de chargement ainsi que l'orthogonalité de celles-ci par rapport aux génératrices du cylindre.

Malheureusement, le surfaçage au soufre ne pourra se faire par ce qu'il n'est pas disponible sur le marché.

Nous utiliserons donc pour le surfaçage, un ciment à prise rapide qui est plus disponible.

L'opération de surfaçage est illustrée à l'annexe photos, N°15.

### **III - 1 - 7 Mesures des déformations du béton :**

Les déformations du béton lors des différents essais seront mesurées à l'aide de jauges ohmiques (annexe photos, N°16) placées sur les éprouvettes (annexe photos, N° 17). Nous utiliserons pour la mesure des déformations le pont d'extensométrie (annexe photos, N°20).

Nous expliquons en détail le fonctionnement du pont d'extensométrie et la mise en place des jauges à l'annexe 1.

### **III - 2 Les essais mécaniques :**

Tous les essais que nous effectuons sont considérés comme étant des **essais de recherche**.

Nous présenterons dans ce qui va suivre, les résultats des essais effectués à 14 jours sur les éprouvettes avec les différents dosages en fibres apportés au béton.

Pour les essais de compression et les essais de traction par fendage (essai Brésilien) l'écrasement se fera sur des éprouvettes cylindriques  $\phi 16 \times 32$  cm. En ce qui concerne les essais de traction par flexion, l'écrasement se fera sur des éprouvettes prismatiques  $10 \times 10 \times 40$  cm (h, b, L).

Les presses hydrauliques de l'ENP (illustrées à l'annexe photos, N°11, N°12, N°13) seront utilisées pour les différents essais.

Vu l'ancienneté des presses, un étalonnage est nécessaire. Il se fera à l'aide d'un capteur inductif et d'un pont d'extensométrie (illustré à l'annexe photos, N°20 et N°19 ). A l'annexe 1, nous expliquons en détails le mode opératoire de l'étalonnage et représentant la courbe d'étalonnage.

La presse hydraulique utilisée pour les essais de compression et de traction par fendage pourra être étalonner. Par contre, la presse utilisée pour l'essai de traction par flexion ne pourra être étalonner, parce que le matériel d'étalonnage n'est pas assez précis pour ce genre de presse.

L'écrasement des éprouvettes se fait avec une vitesse de chargement constante.

Une abréviation est donnée au béton blanc B 0 et au béton de fibres B (15, 20 ou 25) pour alléger et faciliter la lecture des tableaux qui vont suivre.

### III - 2 - 1 Sollicitation à la compression :

Nous reprenons dans le tableau 1, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de compression sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>).

On peut ainsi mieux se rendre compte de l'effet des fibres selon leurs dosages.

Les résultats fournis dans tableaux 1 sont la moyenne de trois essais. (annexe 3)

**Tableau 1**  
Résistance en compression  
(avec fibres de 2 cm)  
Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16 × 32 cm

| Formulation<br>N° | Composition                 |                |                          |                             | Poids des<br>éprouvettes<br>Kg | Résistances en<br>compression<br>(Mpa)<br>à 14 jours |
|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|
|                   | Ciment<br>Kg/m <sup>3</sup> | Rapport<br>G/S | Eau<br>Kg/m <sup>3</sup> | Fibres<br>Kg/m <sup>3</sup> |                                |  |
| 1                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.283                         | 27.25  |
|                   | 350                         | 2.34           | 207.5                    | 15                          | 14.423                         | 3.7 (- 86.42 %)                                      |
| 2                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.300                         | 27.24  |
|                   | 350                         | 2.34           | 217.5                    | 20                          | 14.383                         | 1.99 (- 92.70 %)                                     |
| 3                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.290                         | 26.67  |
|                   | 350                         | 2.34           | 222.5                    | 25                          | 14.170                         | 1.09 (- 95.91 %)                                     |

Si l'on compare l'influence des dosages en fibres dans le béton, on observe une décroissance très importante de la résistance à la compression à 14 j.

La chute en résistance varie de 86.42 à 95.91 % (voir tableau 1). Parmi les trois dosages en fibres, la décroissance la plus importante correspond est celle de 25 Kg par mètre cube de béton.

Vu les mauvais résultats obtenus à l'aide des jauges pour la déformation des bétons de fibres, nous ne pourrions pas tracer leurs courbes contrainte/déformation. (annexe 3).

### III - 2 - 2 Sollicitation en traction par fendage :

Nous reprenons dans le tableau 2, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de traction par fendage sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>).

Les résultats fournis dans tableaux 2 sont la moyenne de trois essais. (annexe 3)

**Tableau 2**  
**Résistance en traction par fendage**  
 (avec fibres de 2 cm)  
 Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16 × 32 cm

| Formulation<br>N° | Composition                 |                |                          |                             | Poids des<br>épreuves<br>Kg | Résistances en<br>traction par fendage<br>(Mpa)<br>à 14 jours |
|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|                   | Ciment<br>Kg/m <sup>3</sup> | Rapport<br>G/S | Eau<br>Kg/m <sup>3</sup> | Fibres<br>Kg/m <sup>3</sup> |                             |   |
| 1                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.167                      | 2.55  |
|                   | 350                         | 2.34           | 207.5                    | 15                          | 14.456                      | 0.57 (- 77.64 %)  |
| 2                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.190                      | 2.38  |
|                   | 350                         | 2.34           | 212.5                    | 20                          | 14.416                      | 0.38 (- 84.03 %)  |
| 3                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 15.266                      | 2.30  |
|                   | 350                         | 2.34           | 217.5                    | 25                          | 14.166                      | 0.25 (- 89.13 %)  |

De même pour l'essai de traction par fendage, les fibres ont entraîné une diminution de la résistance à 14 j de l'ordre de 77.64 à 89.13 % pour des dosages allant de 15 à 25 Kg/m<sup>3</sup>. (voir tableau 2).

Parmi les trois dosages en fibres, la décroissance en résistance du béton de fibres sollicité en traction par fendage correspond au dosage le plus grand en fibres et qui est de 25 Kg par mètre cube.

### III - 2 - 3 Sollicitation en traction par flexion :

Nous reprenons dans le tableau 3, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de traction par flexion sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (15, 20 et 25 Kg/m<sup>3</sup>). Les résultats fournis dans tableaux 3 sont la moyenne de trois essais. (annexe 3)

**Tableau 3**  
**Résistance en traction par flexion**  
 (avec fibres de 2 cm)  
 Essais sur éprouvettes prismatiques 10 × 10 × 40 cm

| Formulation<br>N° | Composition                 |                |                          |                             | Poids des<br>épreuves<br>Kg | Résistances en<br>traction par flexion<br>(Mpa)<br>à 14 jours |
|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|                   | Ciment<br>Kg/m <sup>3</sup> | Rapport<br>G/S | Eau<br>Kg/m <sup>3</sup> | Fibres<br>Kg/m <sup>3</sup> |                             |   |
| 1                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 9.825                       | 2.90  |
|                   | 350                         | 2.34           | 215.0                    | 15                          | 9.423                       | 1.48 (- 48.96 %)  |
| 2                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 9.775                       | 3.04  |
|                   | 350                         | 2.34           | 222.5                    | 20                          | 9.25                        | 0.96 (- 68.42 %)  |
| 3                 | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 0                           | 9.725                       | 3.14  |
|                   | 350                         | 2.34           | 230                      | 25                          | 9.100                       | 0.38 (- 87.90 %)  |

La présence des fibres, sur le plan de la fissure, ne permet pas d'atténuer la fragilité du béton en retenant les deux blocs de béton fissuré et a causé une diminution très importante de la résistance à la rupture du béton à 14 j allant de 48.96 à 87.90 % pour la traction par flexion (Tableau 3).

Parmi les trois dosages en fibres, la décroissance en résistance du béton de fibres sollicité en traction par fendage et en traction par flexion correspond au dosage le plus grand en fibres et qui est de 25 Kg par mètre cube.

### III - 3 Interprétations et discussions des résultats :

1 - Après l'écrasement des éprouvettes de béton de fibres, nous avons remarqué que le ciment n'avait pas pris entièrement et que nous pouvions à la main, réduire en miette la partie du ciment qui avait pris.

Le premier bilan que nous tirons est que **le phénomène d'hydratation du ciment** a été perturbé. Nous pensons qu'une réaction chimique s'est produite en la présence des fibres de palmier puisque nous avons senti une drôle d'odeur se dégager de l'éprouvette du béton de fibres lors de son écrasement.

Cependant, nous ne pensons pas que le problème résulterait d'une privation en eau du ciment, puisque après le décoffrage, les éprouvettes du béton de fibres étaient encore humides, et cela en les comparant aux éprouvettes du béton blanc. (annexe photo, N° 9 et N° 10)

2 - Nous avons remarqué qu'il n'y avait pas d'adhérence entre le béton et les fibres, et que nous pouvions arracher les fibres de la matrice à la main. C'est pour cette raison, qu'il n'y a pas eu couture des fissures.

3 - On constate une diminution de la masse à 14 jours des éprouvettes de béton blanc avec l'adjonction de fibres de palmier. Cette diminution en poids est inversement proportionnelle à la quantité de fibres introduites dans le béton. (Tableau 1, 2 et 3)

La cause de cela, est que les fibres occupant un certain volume, ont pris la place aux granulats.

Ces fibres ont finalement augmenté la porosité du béton en créant des vides, d'où la chute de résistances des bétons de fibres.

4 - Après avoir effectué l'essai de traction par fendage, nous avons constaté que la surface de rupture de l'éprouvette du béton blanc traversait les granulats. Ceci est dû à la bonne adhérence qu'il y a entre la pâte de ciment et les granulats.

Tandis que pour les bétons de fibres, la surface de rupture suit le contour des granulats, cela veut dire que l'adhérence des granulats avec la pâte de ciment a diminué.

Les fibres se sont retrouvées entre les granulats et la pâte de ciment, ce qui a empêché l'adhérence du ciment aux granulats.

### III - 4 Conclusion :

D'après les résultats obtenus, nous constatons une chute brutale de la résistance à la compression qui est de l'ordre de 86.42 à 95.91 %. La même constatation est faite pour la résistance à la traction par fendage qui chute de 77.64 à 89.13 % et pour la traction en flexion de 48.96 à 87.90 %.

En conséquence, les différentes quantités de 15 Kg/m<sup>3</sup>, 20 kg/m<sup>3</sup> et 25 Kg/m<sup>3</sup> de fibres de palmier Doum qui ont été introduites dans le béton sont trop grandes.

A cause du surdosage en fibres dans le béton, qui provoqua une chute importante de sa résistance mécanique, nous ne pouvons émettre une conclusion objective du rôle que devaient jouer les fibres.

De ce fait, nous reconduisons notre recherche de la même manière que précédemment. Sauf que cette fois-ci, nous confectionnerons des bétons de fibres de palmier avec des quantités de fibres plus petites (longueur moyenne 0.5 cm ) et qui varient de 2 à 4 Kg/m<sup>3</sup>, soit un pourcentage en volume de l'ordre de 0.35 à 0.70 %.

## IV - Etude du comportement mécanique sur des bétons renforcés avec 2 et 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> :

### IV - 1 Préparation des éprouvettes :

Comme nous disposons de seize (16) moules cylindriques et de cinq (05) moules prismatiques, nous avons coulé en deux jours les deux formulations (2 et 4 Kg/m<sup>3</sup>).

Pour chaque formulations :

- 12 éprouvettes cylindriques de béton fibres et quatre autres sans fibres.
- 04 éprouvettes prismatiques de béton de fibres et une sans fibres.

Nous écraserons la moitié des éprouvettes à 7 jours et l'autre moitié à 14 jours.

En ce qui concerne le surfaçage, la conservation et la mesure des déformations des éprouvettes, ils se feront de la même manière que précédemment.

### IV - 1 - 1 Composition du béton avec et sans fibres :

La composition du béton blanc est toujours la même.

### Composition du béton de fibres :

Nous allons étudier le comportement du béton de fibres sous diverses sollicitations pour deux dosages différents de fibres 2 et 4 Kg/m<sup>3</sup>.

Nous introduirons les fibres à la fin du cycle de malaxage en gardant la même composition que le béton blanc, c'est à dire, en gardant les rapports G/S et E/C constants et en ajoutant une quantité d'eau supplémentaire due à l'absorption des fibres, nous donnons la formulation de ce béton dans le tableau ci-dessous :

| Constituants          | Poids (Kg) |
|-----------------------|------------|
| Ciment CPJ 45         | 350        |
| Eau (E <sub>1</sub> ) | 192.5      |
| Sable 0/5 mm          | 550.04     |
| Gravillon 3/8 mm      | 273.98     |
| Gravillon 8/15 mm     | 1016.05    |
| Fibres de palmier     | 2 à 4      |
| Eau (E <sub>2</sub> ) | 2 à 4      |

Tableau. Composition du béton de fibres (pour 1 m<sup>3</sup>)

$E_2$  eau absorbée par les fibres = Poids des fibres introduites

$E_1$  eau de gâchage

$E_1/C = 0.55$

#### IV - 1 - 2 Durée de malaxage des constituants du béton :

| Les constituants   | Durée de malaxage ( $\pm 15$ secondes) |
|--------------------|--|
| Gravillon et sable | 02 minutes                             |
| Ciment             | 1.5 minutes                            |
| Fibres             | 2.50 minutes                           |
| Eau                | 02 minutes                             |

#### IV - 1 - 3 Mesures et contrôle de l'ouvrabilité :

La mesure de l'ouvrabilité se fera à l'aide de l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams (flow test) et l'essai du slump test.

##### 1 - Affaissement au cône d'Abrams :

Nous remplissons le béton dans un moule en tôle tronconique ( $D = 20$  cm,  $d = 10$  cm,  $h = 30$  cm), nous attendons une minute après avoir soulevé le moule pour mesurer l'affaissement. L'essai est illustré à l'annexe photo, N° 12.

Nous donnons les résultats dans le tableau suivants :

| Différentes formulations               | Affaissement |
|--|--------------|
| Béton blanc                            | 4 cm         |
| Béton de fibres (2 Kg/m <sup>3</sup> ) | 3.4 cm       |
| Béton blanc                            | 4.2 cm       |
| Béton de fibres (4 Kg/m <sup>3</sup> ) | 2.5 cm       |

Nous remarquons que le béton blanc et le béton de fibres ont un affaissement compris entre 0 et 4 cm, ces deux bétons sont de consistance très ferme et cela en se référant à la norme NF-P 18-451.

##### 2 - L'essai du flow test :

L'essai s'exécute sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales (élévation suivie d'une chute de 12 mm) à l'aide d'une came commandée par manivelle.

Le démoulage sur la table un tronc de cône de béton ( $D_0 = 11.5$  cm,  $d_0 = 10.5$  cm) et on le soumet à une série de 25 secousses. On mesure ensuite le diamètre total  $D$  après étalement et la mesure s'exprime en pourcentage du diamètre de base  $100 \times (D - 11.5) / 11.5$  %.

| Différentes formulations               | Valeur moyenne % | Appréciation |
|--|------------------|--------------|
| Béton blanc                            | 12.5             | Béton ferme  |
| Béton de fibres (2 Kg/m <sup>3</sup> ) | 4.35             |              |
| Béton blanc                            | 12.5             | Béton ferme  |
| Béton de fibres (4 Kg/m <sup>3</sup> ) | 3.58             |              |

## IV - 2 Les essais mécaniques :

### IV - 2 - 1 Sollicitations à la compression :

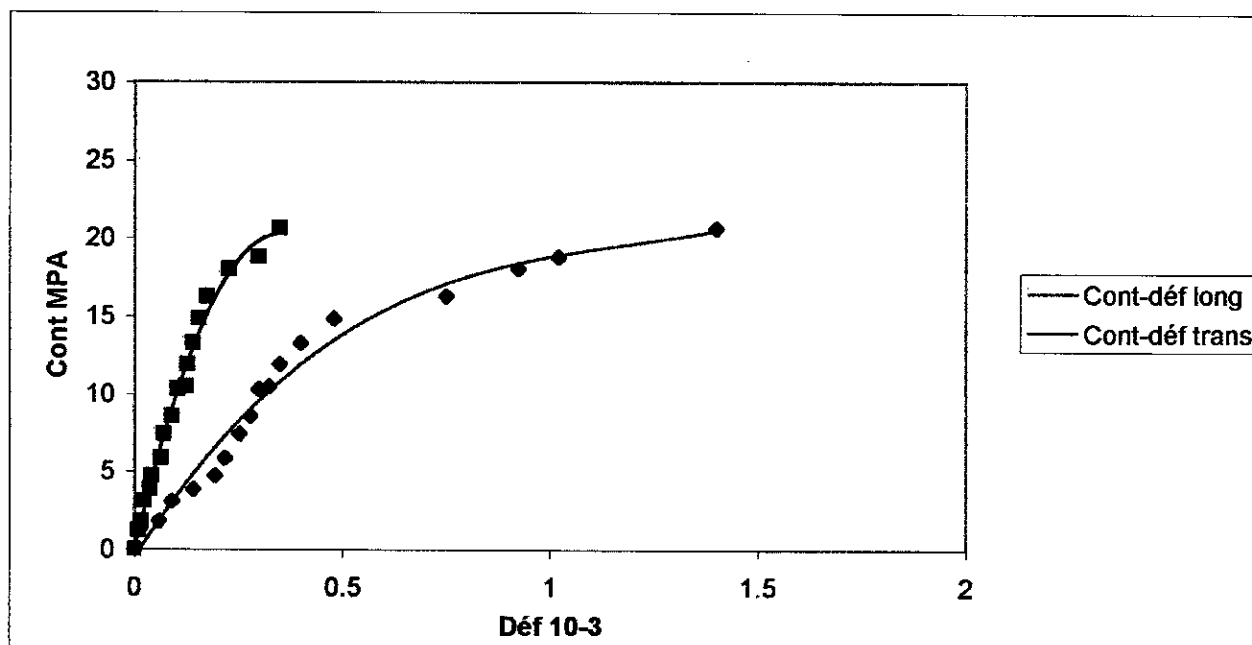
Nous reprenons dans le tableau 4, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de compression sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (2 et 4 Kg/m<sup>3</sup>). On peut ainsi mieux se rendre compte de l'efficacité des fibres selon leurs dosages.

Les valeurs données dans le tableau 4, sont les résultats obtenus de la moyenne de trois éprouvettes de béton de fibres et de deux éprouvettes de béton blanc. (Annexe 4)

**Tableau 4**  
Résistance à la compression  
(avec fibres de 0.5 cm)  
Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi 16 \times 32$  cm

| Dosages en fibres (Kg/m <sup>3</sup> ) | Composition              |             |                       | Poids des éprouvettes En Kg | Résistance en compression en Mpa |            |
|--|--------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------|
|  | Ciment Kg/m <sup>3</sup> | Rapport G/S | Eau Kg/m <sup>3</sup> |                             | à 7 jours                        | à 14 jours |
| 0                                      | 350                      | 2.34        | 192.5                 | 15.050                      | 21.125                           | 27.71      |
| 2                                      | 350                      | 2.34        | 194.5                 | 14.850                      | 17.43                            | 22.10      |
| 4                                      | 350                      | 2.34        | 196.5                 | 15.050                      | 18.92                            | 23.43      |

Les diagrammes contrainte/déformation du béton blanc et du béton dosé à 2 et 4 Kg de fibres / m<sup>3</sup> à 7 et 14 jours sont représentés aux figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6.



**Fig 1.** Diagramme contrainte/ déformation du béton blanc à 7 jours



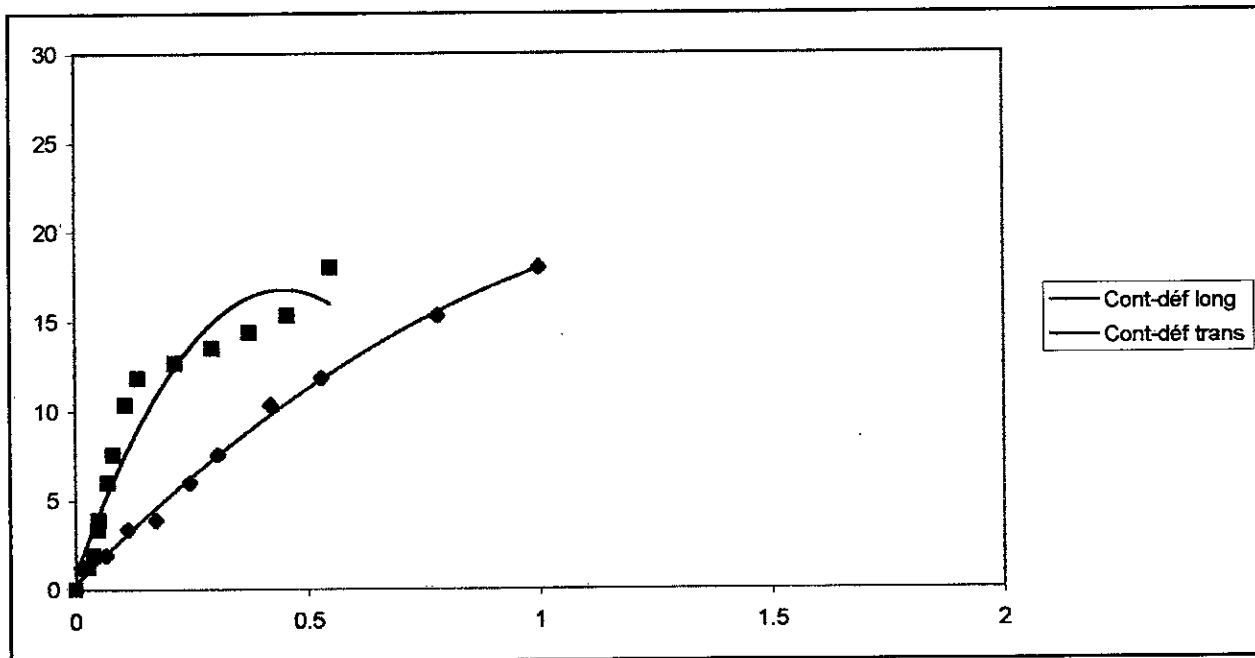


Fig 2. Diagramme contrainte/déformation d'un béton dosé à 2 Kg de fibres /m<sup>3</sup> à 7 jours

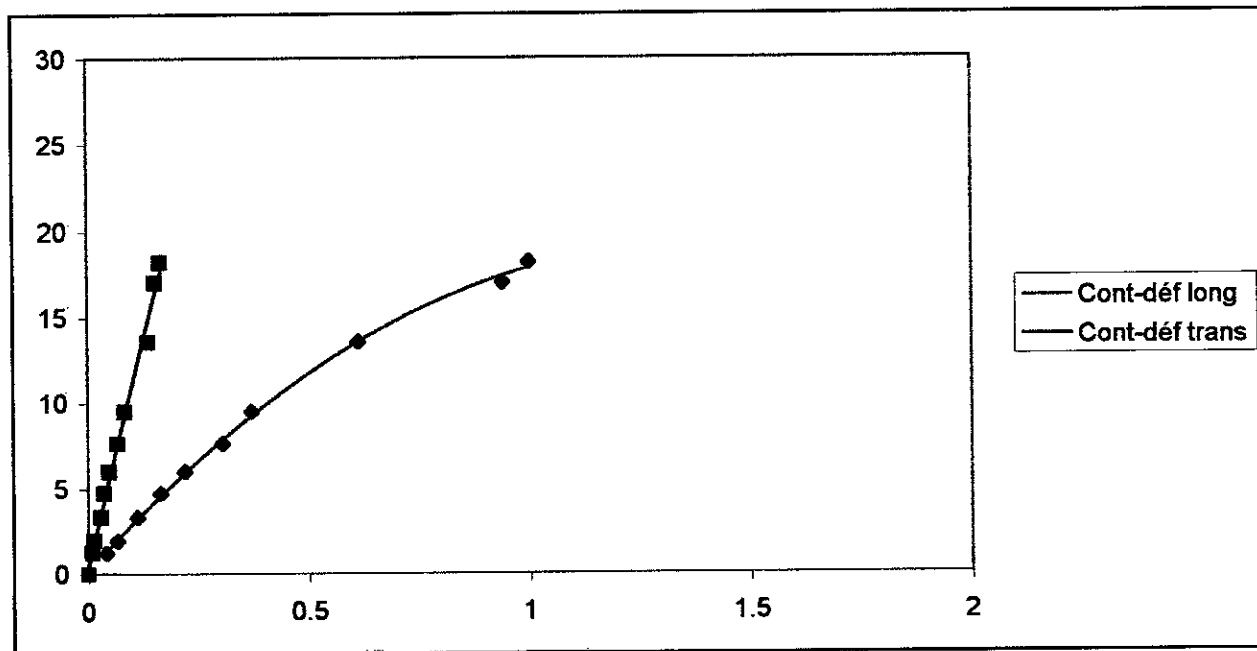


Fig 3. Diagramme contrainte/déformation d'un béton dosé à 4 Kg de fibres /m<sup>3</sup> à 7 jours

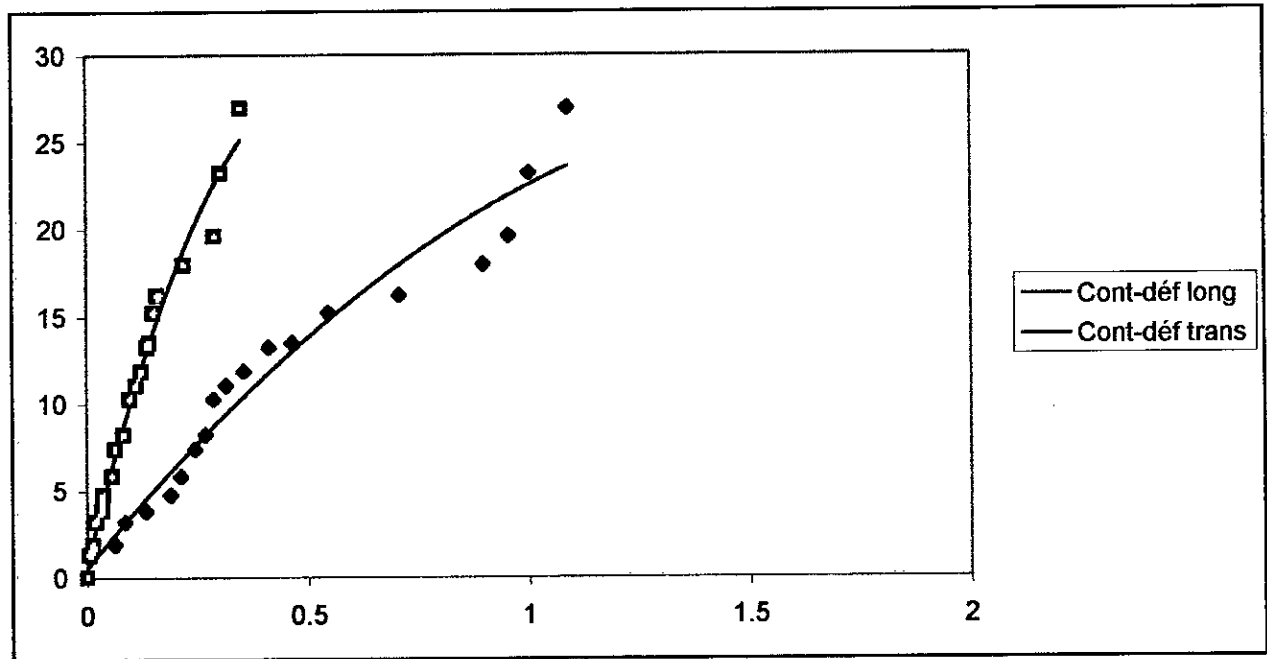


Fig 4. Diagramme contrainte/déformation du béton blanc à 14 jours

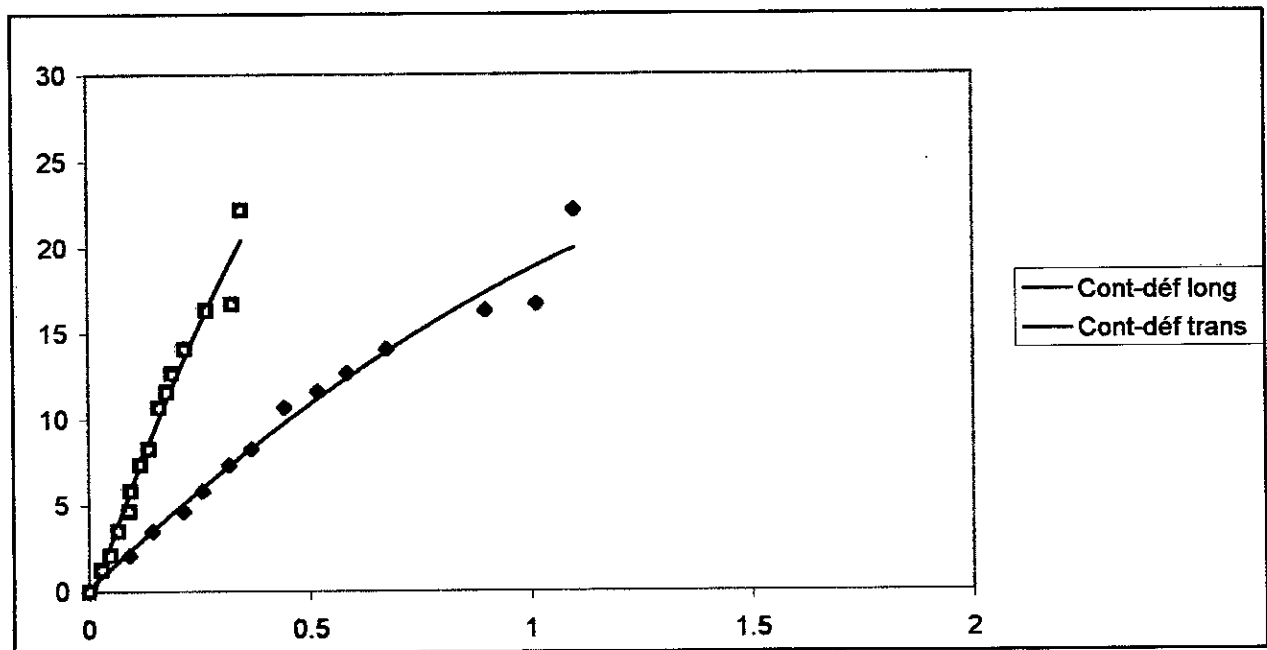


Fig 5. Diagramme contrainte/déformation d'un béton dosé à 2 Kg de fibres/m<sup>3</sup> à 14 jours

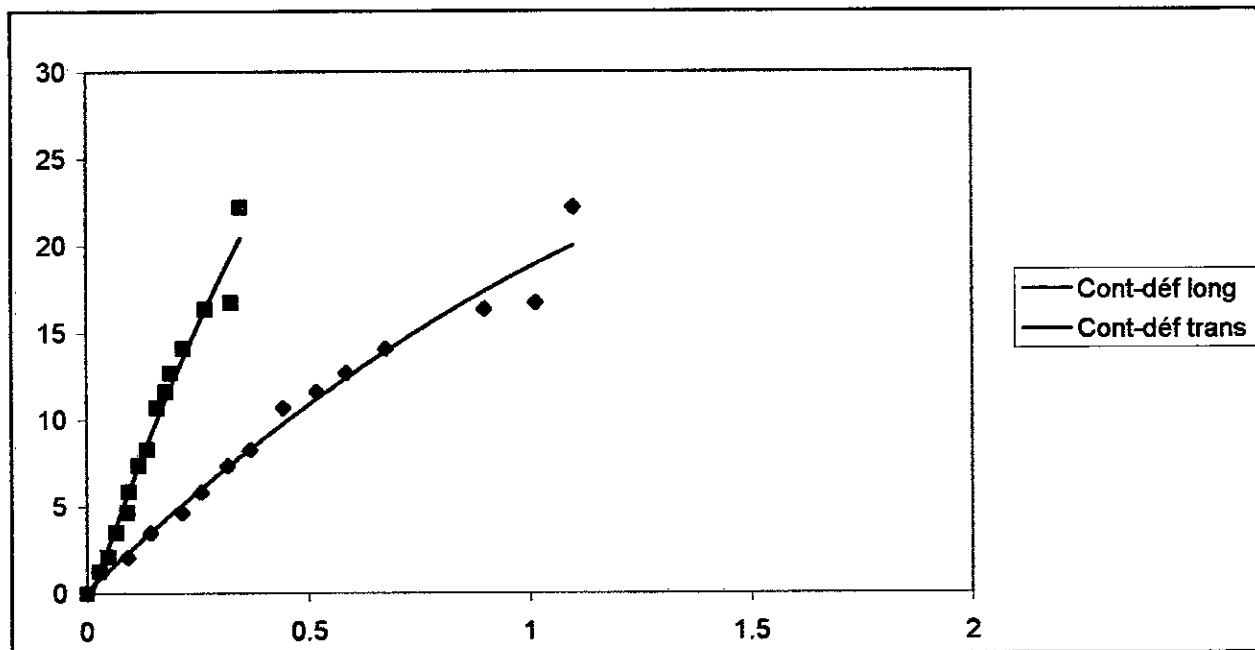


Fig 6. Diagramme contrainte/déformation d'un béton dosé à 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> à 14 jours

Deux diagrammes contrainte/déformation sont tracés ci-dessous pour comparer l'influence des différents dosages en fibres à 7 et 14 jours par rapport au béton blanc.

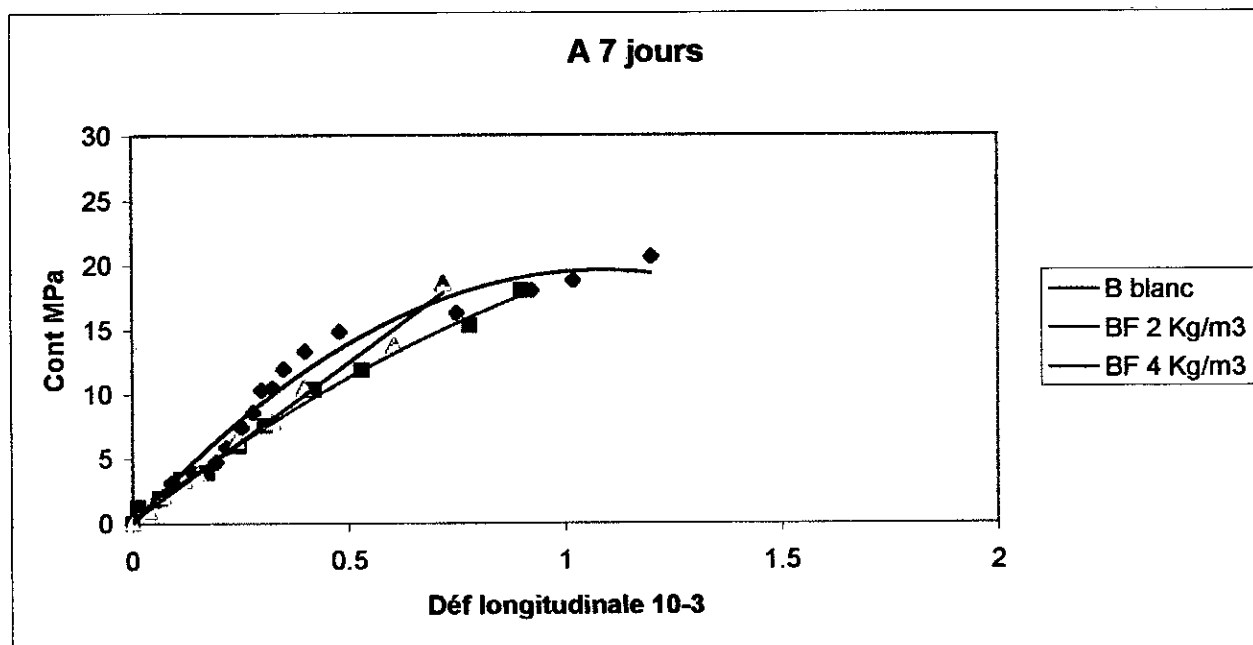
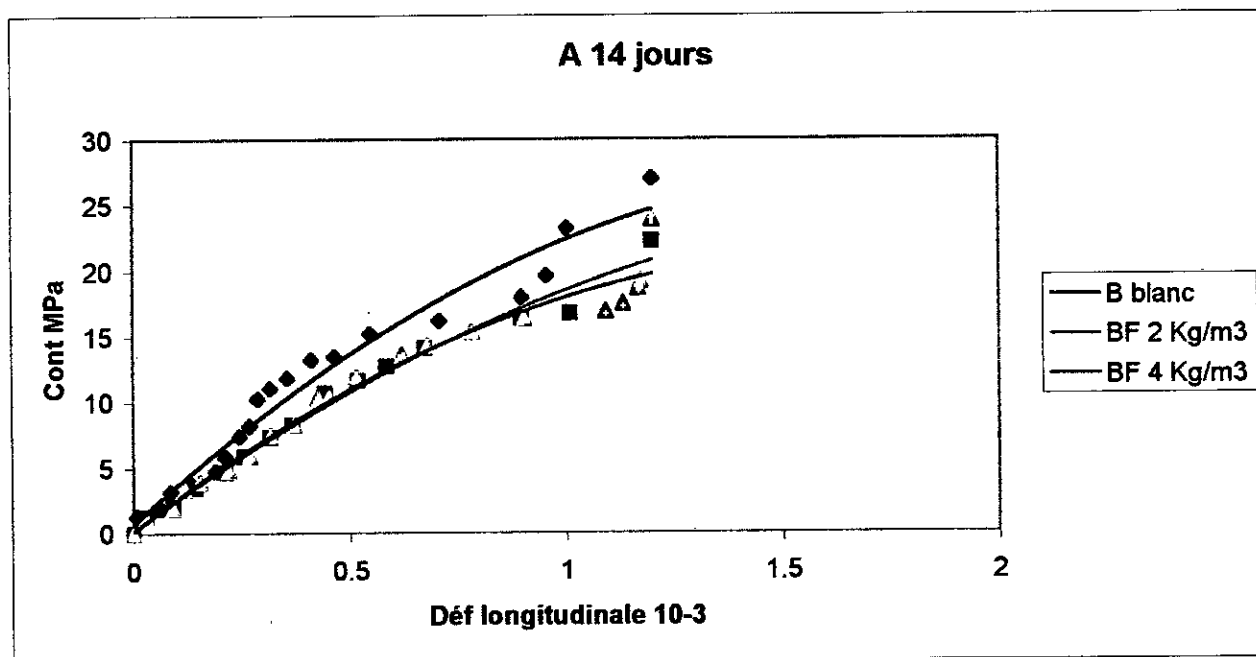


Fig 7. Comparatif des diagrammes contrainte/déformation des bétons dosés à 2 et 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> au béton blanc à 7 jours.



**Fig 8.** Comparatif des diagrammes contrainte/déformation des bétons dosés à 2 et 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> au béton blanc à 14 jours.

Nous posons BF X : béton de fibre à X Kg de fibres/m<sup>3</sup>

Nous constatons à partir du tableau 4 que la résistance à la compression du BF 4 est meilleure que pour les BF 2 mais reste relativement faible (-10.45 %) à 7 jours et (-15.45 %) à 14 jours par rapport au béton blanc.

L'écart de résistance à la compression entre le béton blanc et le béton de fibres a diminué de 7 à 14 jours, puisque le BF 2 et le BF 4 ont perdu respectivement 2.75 et 5 % par rapport au béton blanc.

La cause de cette diminution par rapport au béton sans fibres de composition identique, peut être attribuée à l'augmentation de la porosité du béton et aux caractéristiques physiques des fibres.

Nous remarquons à partir des figures 7 et 8, que la déformation longitudinale maximale des bétons de fibres a diminué à 7 jours par rapport au béton blanc. Par contre à 14 jours, la déformation des bétons de fibres est pratiquement égale à la déformation du béton blanc.

A partir des diagrammes contrainte/déformation, nous calculons les modules d'élasticité et les coefficients de Poisson pour les différents béton.

| Dosages en fibres en Kg/m <sup>3</sup> | Module d'élasticité 10 <sup>3</sup> MPa |            | Coefficient de Poisson |               |
|--|---|------------|------------------------|---------------|
|  | A 7 jours                               | A 14 jours | A 7 jours              | A 14 jours    |
| 0                                      | 26.43                                   | 30.00      | 0.250 à 0.263          | 0.250 à 0.285 |
| 2                                      | 23.40                                   | 22.36      | 0.261                  | 0.353 à 0.388 |
| 4                                      | 22.93                                   | 24.32      | 0.244 à 0.272          | 0.33 à 0.37   |

Nous constatons à partir des résultats de ce tableau, que le module d'élasticité du béton de fibres a diminué par rapport à celui du béton de blanc. Par contre, le coefficient de Poisson du béton de fibres a augmenté.

#### IV - 2 - 2 Sollicitations à la traction par fendage :

Nous reprenons dans le tableau 5, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de traction par fendage sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (2 et 4 Kg/m<sup>3</sup>).

On peut ainsi mieux se rendre compte de l'efficacité des fibres selon leurs dosages.

Les valeurs données dans le tableau 5, sont les résultats obtenus de la moyenne de trois éprouvettes de béton de fibres et de deux éprouvettes de béton blanc. (Annexe 4).

**Tableau 5**  
Résistance à la traction par fendage  
(avec fibres de 0.5 cm)  
Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16 × 32 cm

| Dosages en fibres<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | Composition                 |                |                          | Poids des éprouvettes<br>En Kg | Résistance en traction par fendage<br>en Mpa |            |
|---|-----------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|--|------------|
|   | Ciment<br>Kg/m <sup>3</sup> | Rapport<br>G/S | Eau<br>Kg/m <sup>3</sup> |                                | A 7 jours                                    | A 14 jours |
| 0   | 350                         | 2.34           | 192.5                    | 15.080                         | 1.775  | 2.25       |
| 2   | 350                         | 2.34           | 194.5                    | 14.900                         | 2.020  | 2.70       |
| 4   | 350                         | 2.34           | 196.5                    | 14.730                         | 2.380  | 3.05       |

La sollicitation du béton de fibres en traction par fendage illustre de façon claire le rôle joué par les fibres sur les caractéristiques du matériau.

C'est avec le BF 4 que nous obtenons la meilleure amélioration et qui est de 34.08 % à 7 jours et de 35.5 % à 14 jours par rapport au béton blanc.

La présence des fibres, sur le plan de la fissure, permet d'atténuer cette fragilité du béton en retenant les deux blocs de béton fissuré.

#### IV - 2 - 3 Sollicitations à la traction par flexion :

Nous reprenons dans le tableau 6, une synthèse des résultats fournis par les différents essais de traction par flexion sur le béton blanc et le béton à différents dosages en fibres (2 et 4 Kg/m<sup>3</sup>).

On peut ainsi mieux se rendre compte de l'efficacité des fibres selon leurs dosages.

Les valeurs données dans le tableau 6, sont les résultats obtenus de la moyenne de deux éprouvettes de bétons de fibres et d'une éprouvette de béton blanc. (Annexe 4).

**Tableau 6**  
 Résistance à la traction par flexion  
 (avec fibres de 0.5 cm)  
 Essais sur éprouvettes prismatiques 10 × 10 × 40 cm

| Dosages en fibres (Kg/m <sup>3</sup> ) | Composition              |             |                       | Poids des éprouvettes En Kg | Résistances en traction par flexion en Mpa |            |
|--|--------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|--|------------|
|  | Ciment Kg/m <sup>3</sup> | Rapport G/S | Eau Kg/m <sup>3</sup> |                             | à 7 jours                                  | à 14 jours |
| 0                                      | 350                      | 2.34        | 192.5                 | 9.600                       | 1.77                                       | 2.23       |
| 2                                      | 350                      | 2.34        | 194.5                 | 9.350                       | 2.23                                       | 2.47       |
| 4                                      | 350                      | 2.34        | 196.5                 | 9.400                       | 2.28                                       | 2.61       |

Les résultats de la résistance de la traction par flexion des bétons de fibres, témoignent bien de l'efficacité des fibres dans ce type de sollicitations.

Ils montrent que l'amélioration des caractéristiques mécaniques du matériau, apportée par la présence des fibres, peut largement compenser la chute des caractéristiques mécaniques de la matrice en béton, due à l'adaptation de sa composition.

La présence des fibres, sur le plan de la fissure, permet d'atténuer cette fragilité du béton en retenant les deux blocs de béton fissuré.

En se basant sur les résultats, c'est le béton à **4 Kg de fibres/m<sup>3</sup>** qui a apporté la meilleure amélioration de la résistance à la flexion, à 7 jours (+ 28.80 %) et 14 jours (+ 18.80 %).

Cependant, la résistance en flexion a diminué en passant de 7 à 14 jours pour le BF 2 et le BF 4 puisque ces deux bétons de fibres ont perdu respectivement 2.75 % et 5 % par rapport au béton blanc.

#### IV – 3 Interprétations et discussions des résultats :

1 - Après l'écrasement des éprouvettes de béton de fibres, nous avons remarqué que le ciment avait pris normalement contrairement aux premiers essais.

Le premier bilan que nous tirons est que le **phénomène d'hydratation du ciment** n'a pas été perturbé.

2 - On constate une légère diminution de la masse à 14 jours des éprouvettes de béton blanc avec l'adjonction de fibres de palmier. Cette diminution en poids est inversement proportionnelle à la quantité de fibres introduites dans le béton. (Tableau 4, 5 et 6)

La cause de cela, est que les fibres occupant un certain volume, ont pris la place aux granulats.

3 - Les fibres ont peut être contribuer à augmenter la porosité du béton, ce qui explique la diminution de la résistance à la compression.

4 - Après avoir effectué l'essai de traction par fendage, nous avons constaté que la surface de rupture des éprouvette du béton blanc et de béton de fibres traversait les granulats. Ceci est du à la bonne adhérence qu'il y a entre la pâte de ciment et les granulats.

Cela veut dire que la présence des fibres avec des dosages de 2 et 4 Kg par mètre de béton n'a pas affecté l'adhérence des granulats avec la pâte de ciment, contrairement aux dosages des premiers essais.

#### **IV - 4 Conclusion :**

D'après les résultats obtenus, nous constatons une amélioration de la résistance en traction par fendage et de la résistance à la flexion pour le dosage de 4 Kg de fibres par mètre cube de béton.

Par contre la résistance en compression a légèrement diminuée.

En se basant sur les résultats obtenus lors du calcul des modules d'élasticité et des coefficients de **Poisson** , nous remarquons que les bétons de fibres ont de nouvelles caractéristiques mécaniques et ceci en les comparant au béton blanc.

# **CONCLUSION GENERALE**



## Conclusion générale

De ce qui vient d'être exposé, il apparaît bien que l'introduction des fibres de palmier dans le béton est un problème délicat, qui nécessite des études minutieuses et des décisions prises en toutes connaissances de cause.

La conclusion globale de ce travail sur l'ensemble des bétons de fibres étudiés est que la résistance à la compression a chuté pour les bétons renforcés avec des fibres dosés à 15, 20 et 25 Kg / m<sup>3</sup>, elle diminue par contre légèrement pour les bétons dosés à 2 et 4 Kg / m<sup>3</sup>. Par ailleurs il est observé pour la résistance à la traction une amélioration obtenue pour un dosage de 4 Kg par mètre cube de béton.

Après plus d'une centaine d'essais, nous avons pu fixer une plage de la quantité de fibres à introduire dans le béton en fixant une valeur minimale de 4 Kg/m<sup>3</sup> de béton et une valeur maximale de 15 Kg/m<sup>3</sup> de béton.

Vu le temps et le matériel qui nous ont été accordés, nous n'avons pas pu déterminer tous les paramètres influents sur les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du béton renforcé par des fibres de palmier.

Par conséquent, nous recommandons à ceux qui poursuivront cette étude de :

- Déterminer l'influence des fibres sur l'hydratation du ciment ;
- Chercher un procédé qui facilite l'extraction de la fibre ;
- D'augmenter éventuellement la quantité de la pâte de ciment ainsi que le rapport sable gravier lors de l'introduction d'autres quantités de fibres dans le béton ;
- Trouver le pourcentage optimal de fibres qu'il faut rajouter à la matrice qui se situe dans la plage de 4 à 15 Kg de fibres par mètre cube de béton ;
- Rechercher l'effet de la conservation des éprouvettes de béton des fibres à l'air ambiant.

Enfin, nous finirons par le rappel que lorsque l'on obtient un produit possédant certaines caractéristiques intéressantes, il faut s'assurer que celles-ci ne sont pas acquises au détriment d'autres et en particulier de la durabilité et de la compression.

Bien entendu, cette étude nécessite d'être complétée par des essais de vieillissement et par la prise en compte plus fine des caractéristiques relatives fibres-béton et de la géométrie des fibres.

Si ces études confirment les bons résultats obtenus aux jeunes âges avec les fibres de palmier, une nouvelle voie, à priori plus économique, pourrait être ouverte dans la technique des bétons de fibres.

# **ANNEXES**

# **Annexe - 1 -**

# Annexe 1

## I - Etalonnage de la presse hydraulique :

L'étalonnage de tous les instruments de mesures doit se faire en raison de son ancienneté, c'est pour cela que nous effectuons cette opération pour ne pas avoir des mesures de charge faussées et décalées avec les des charges réelles.

L'étalonnage de la presse hydraulique se fera à l'aide d'un pont d'extensométrie et d'un capteur inductif qui a une capacité égale à 3000 KN. Nous appliquons une charge sur le capteur inductif qui est placé entre les deux plateaux de la presse et nous lisons la valeur de la charge sur le cadran.

Les valeurs des charges réelles sont obtenues par la lecture des déformations lues directement sur le pont d'extensométrie.

La courbe d'étalonnage est représentée à la fin de l'annexe 1.

## II - Déformations unitaires :

Les allongements et les raccourcissements du béton au voisinage des sections critiques sont déterminées à l'aide de jauges ohmiques. Les valeurs sont lues directement sur le pont d'extensométrie.

Les paramètres K (facteur de sensibilité des jauges) et R (résistance des jauges en  $\Omega$ ) propres à chaque type de jauges, sont réglables sur le pont dès le départ.

Pour les essais de traction, les jauges sont placées sur le béton au niveau de la fibre la plus tendue.

Pour l'essai de compression, nous plaçons quatre jauges dont deux se trouvant dans le sens longitudinal, et les deux autres, dans le sens transversal de l'éprouvette.

## III - Le pont d'extensométrie :

Le pont d'extensométrie P-350 est conçu pour la mesure des déformations du matériau, telles que les déformations en traction ou en compression au moyen de jauges branchées en pont complet, en demi pont ou dans notre cas en un quart de pont.

Le pont P-350 est extensé à 10 voies, d'où la possibilité d'y brancher dix jauges à la fois.

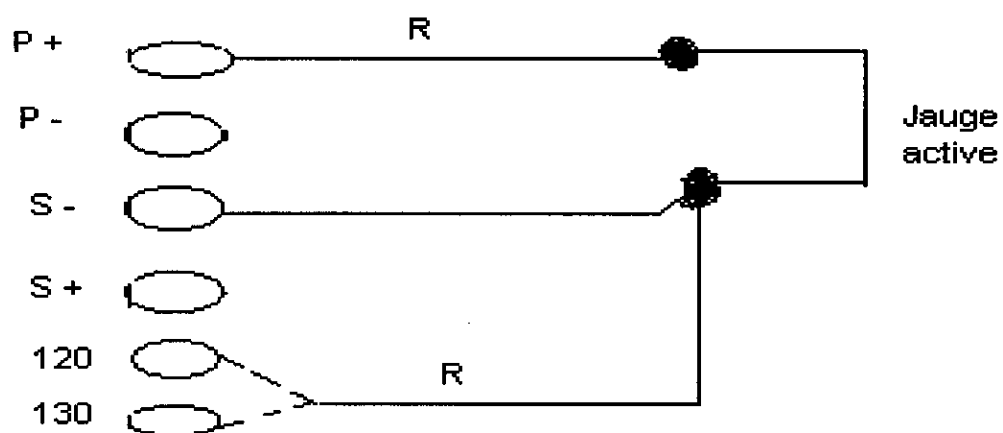
Les déplacements sont déterminés à l'aide des comparateurs C1, C2, C3 et C4.

Les variations de distances entre deux points appartenant à la surface d'une structure sont données par  $\xi_{12} = \Delta L/L$ .

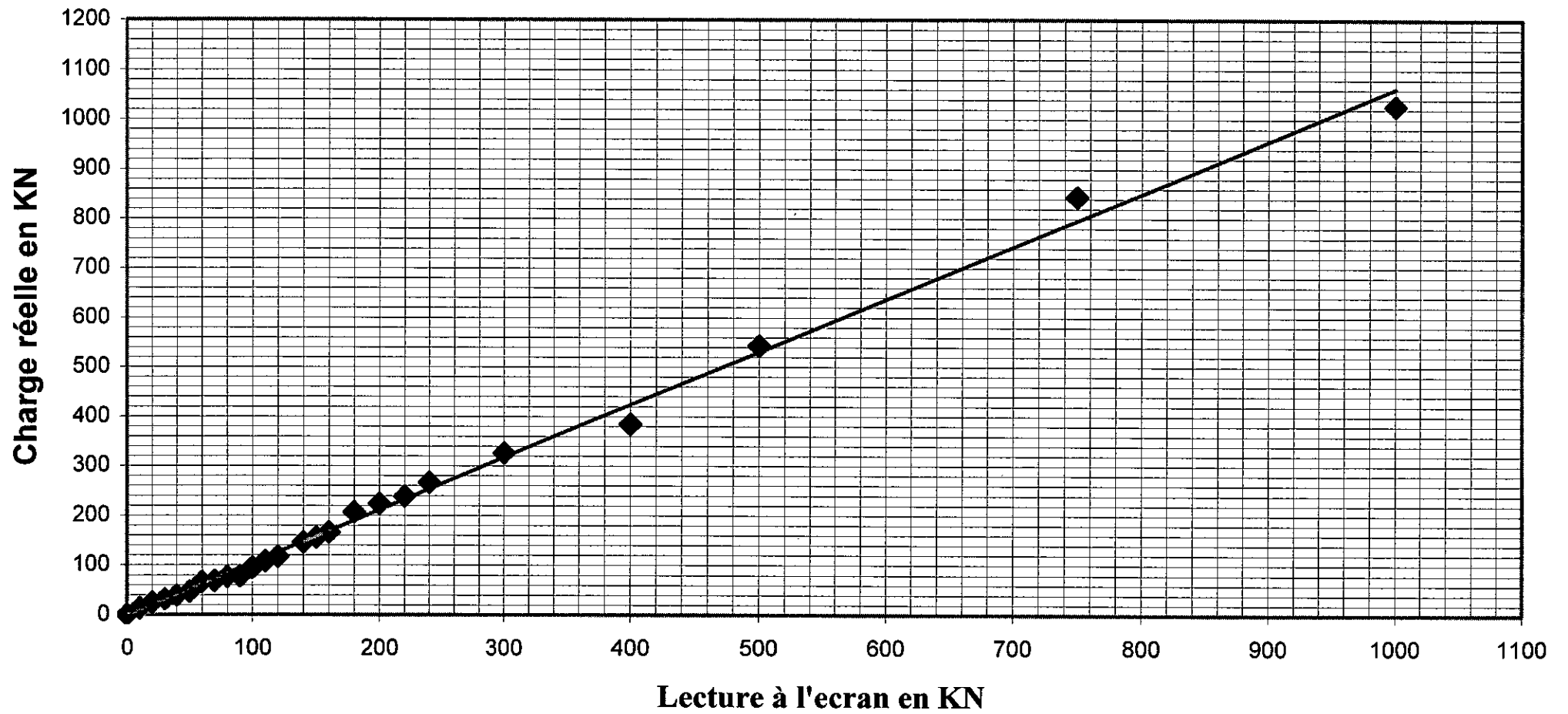
**Branchement quart de pont :**

Les valeurs 120 et 350 sont exprimées en ohm ( $\Omega$ ), elles représentent les valeurs des résistances des jauges.

En général la résistance est de  $120 \pm 0.3 \Omega$ .



## Etalonnage de la presse hydraulique



# **Annexe - 2 -**

## Annexe 2

### Choix des méthodes pour la composition du béton.

Nous nous contenterons de donner les résultats des dosages des granulats obtenus grâce à ces méthodes et les résultats des essais des résistances à la compression effectuées sur des éprouvettes cylindriques  $\phi 16 \times 32$  cm à 3 jours et 7 jours.

#### I - Méthodes de Faury :

Les dosages des constituants du béton sont donnés dans le tableau suivant :

##### Composition du béton :

| Constituants      | Poids en Kg/m <sup>3</sup> |
|-------------------|----------------------------|
| Ciment CPJ 45     | 350.0                      |
| Eau               | 192.5                      |
| Sable 0/5 mm      | 788.5                      |
| Gravillon 3/8 mm  | 219.0                      |
| Gravillon 8/15 mm | 831.5                      |

La masse volumique du béton obtenu = 2 381.5 Kg/m<sup>3</sup>

##### Essais à la compression :

| N° | Poids de l'éprouvette (Kg) | Résistance à la compression - MPa |           |
|----|----------------------------|-----------------------------------|-----------|
|    |                            | A 3 jours                         | A 7 jours |
| 1  | 14.950                     | 9.95                              | -         |
| 2  | 15.000                     | 9.45                              | -         |
| 3  | 15.200                     | 10.45                             | -         |
| 4  | 15.250                     | -                                 | 11.70     |
| 5  | 14.900                     | -                                 | 12.20     |
| 6  | 15.000                     | -                                 | 13.70     |

#### II - Méthode de Bolomey et Vallette :

Cette méthode consiste à rapprocher le plus possible les courbes granulométriques dans le faisceau de Bolomey et de Vallette.

Les dosages des constituants du béton sont donnés dans le tableau suivant :



**Composition du béton :**

| Constituants      | Poids en Kg/m <sup>3</sup> |
|-------------------|----------------------------|
| Ciment CPJ 45     | 350.0                      |
| Eau               | 192.5                      |
| Sable 0/5 mm      | 550.0                      |
| Gravillon 3/8 mm  | 274.0                      |
| Gravillon 8/15 mm | 1016.0                     |

La masse volumique du béton obtenu = 2382.5 Kg/m<sup>3</sup>

**Essai à la compression :**

| N° | Poids de l'éprouvette (Kg) | Résistance à la compression Mpa |           |
|----|----------------------------|---------------------------------|-----------|
|    |                            | A 3 jours                       | A 7 jours |
| 1  | 15.200                     | 11.500                          | -         |
| 2  | 15.150                     | 11.235                          | -         |
| 3  | 15.200                     | 11.650                          | -         |
| 4  | 15.250                     | -                               | 17.400    |
| 5  | 15.250                     | -                               | 16.950    |
| 6  | 15.150                     | -                               | 17.200    |

**III - Estimation de la résistance à la compression du béton à 28 jours :**

Actuellement, la résistance à la compression est définie à partir d'essais à 28 jours, c'est pourquoi nous estimerons la résistance en compression de notre béton obtenu à partir des deux méthodes grâce aux règles **BAEL** qui prévoient la loi suivante :

Pour  $j \geq 28$  jours :  $f_{cj} = f_{c28}$

Pour  $j < 28$  jours :  $f_{cj} = 0.685 f_{c28} \log_{10}(j+1)$

|                                   | Déduite de la loi BAEL |
|-----------------------------------|------------------------|
| Méthode de Faury                  | 22.180 ± 3.279         |
| Méthode de Bolomey et de Vallette | 27.785 ± 0.543         |

**Résistance à la compression à 28 jours**

# **Annexe - 3 -**

## Annexe 3

### Résultats de l'étude effectuée sur des bétons dosés à 15, 20 et 25 Kg de fibres/m<sup>3</sup>

#### - Première formulation (15 Kg de fibres/m<sup>3</sup>) .

Toutes les éprouvettes sont numérotées.

##### I - 1 - Résistance à la compression (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes<br>(Kg) | Effort de rupture<br>(KN) | Contrainte de<br>rupture (Mpa) |
|----|-------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1  | B 0         | 15.350                        | 542.30                    | 27.12                          |
| 2  | B 0         | 15.400                        | 550.00                    | 27.50                          |
| 3  | B 0         | 15.100                        | 542.30                    | 27.12                          |
| 4  | B 15        | 14.470                        | 67.00                     | 3.35                           |
| 5  | B 15        | 14.250                        | 77.00                     | 3.85                           |
| 6  | B 15        | 14.550                        | 78.07                     | 3.90                           |

- La contrainte moyenne de rupture du béton blanc = **27.25 Mpa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 15 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **3.7 Mpa**

##### I - 2 - Résistance à la traction par fendage (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes<br>(Kg) | Effort de rupture<br>(KN) | Contrainte de<br>rupture (Mpa) |
|----|-------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 7  | B 0         | 15.150                        | 217.50                    | 2.71                           |
| 8  | B 0         | 15.200                        | 166.35                    | 2.07                           |
| 9  | B 0         | 15.150                        | 230.46                    | 2.87                           |
| 10 | B 15        | 14.450                        | 61.53                     | 0.77                           |
| 11 | B 15        | 14.470                        | 37.00                     | 0.46                           |
| 12 | B 15        | 14.450                        | 38.48                     | 0.48                           |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.55 Mpa**.
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 15 Kg de fibres = **0.57 Mpa**

**I - 3 - Résistance en traction par flexion (14 jours) :**

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 13 | B 0         | 9.850                      | 17.00                  | 3.06                        |
| 14 | B 0         | 9.800                      | 15.20                  | 2.74                        |
| 15 | B 15        | 9.450                      | 7.10                   | 1.28                        |
| 16 | B 15        | 9.400                      | 7.60                   | 1.37                        |
| 17 | B 15        | 9.420                      | 9.90                   | 1.78                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.90 Mpa**

- La résistance moyenne de rupture du béton avec 15 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **1.48 Mpa**

**II -1- Valeurs des contraintes-déformations obtenues à la compression :**

Nous plaçons deux jauges dans le sens longitudinal et deux autres dans le sens transversal de l'éprouvette.

**Le béton blanc N°3**

Résistance à la compression

Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16 × 32 cm

| Chargement en KN | Déf longitudinale 10-3 |       | Déf transversale 10-3 |       |
|------------------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|                  | 1                      | 2     | 3                     | 4     |
| 0                | 0                      | 0     | 0                     | 0     |
| 46.54            | 0.001                  | 0.154 | 0.024                 | 0.021 |
| 99.80            | 0.040                  | 0.234 | 0.046                 | 0.038 |
| 161.38           | 0.159                  | 0.357 | 0.060                 | 0.045 |
| 228.00           | 0.312                  | 0.399 | 0.100                 | 0.048 |
| 280.23           | 0.410                  | 0.522 | 0.121                 | 0.068 |
| 340.50           | 0.640                  | 0.662 | 0.182                 | 0.122 |
| 438.00           | 1.080                  | 0.996 | 0.345                 | 0.155 |
| 542.30           | -                      | -     | 0.676                 | -     |

**Le béton de fibres N°5**

Résistance à la compression

(avec fibres de 2 cm)

Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16 × 32 cm

| Chargement en KN | Déf longitudinale 10-3 |       | Déf transversale 10-3 |       |
|------------------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|                  | 1                      | 2     | 3                     | 4     |
| 0                | 0                      | 0     | 0                     | 0     |
| 8.00             | 0.018                  | 0.100 | 0.192                 | 1.610 |
| 18.00            | 0.857                  | 2.229 | 2.579                 | 2.539 |
| 27.00            | 2.980                  | 2.880 | 3.29                  | 3.71  |
| 37.00            | 3.481                  | 3.628 | 3.610                 | 3.494 |
| 45.00            | 3.544                  | 4.244 | 3.980                 | 3.563 |
| 66.53            | 3.88                   | 5.13  | 2.626                 | 2.339 |
| 68.30            | 1.032                  | 1.780 | 2.110                 | 2.562 |
| 76.92            | 3.090                  | 4.558 | 4.701                 | 5.530 |
| 77.00            | -                      | -     | -                     | -     |

**Le béton de fibres N°6**  
Résistance à la compression  
(avec fibres de 2 cm)

Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16  $\times$  32 cm

| Chargement en<br>KN | Déf longitudinale 10-3 |       | Déf transversale 10-3 |       |
|---------------------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|                     | 1                      | 2     | 3                     | 4     |
| 0                   | 0                      | 0     | 0                     | 0     |
| 13.461              | 0.094                  | 0.071 | 1.013                 | 0.376 |
| 25.00               | 0.166                  | 0.135 | 0.924                 | 0.385 |
| 31.15               | 0.188                  | 0.208 | 0.955                 | 0.395 |
| 38.46               | 0.210                  | 0.251 | 0.908                 | 0.404 |
| 47.56               | 0.286                  | 0.396 | 0.964                 | 0.416 |
| 66.53               | 0.288                  | 0.475 | 0.997                 | 0.430 |
| 68                  | 0.388                  | 0.642 | 0.996                 | 0.445 |
| 76.92               | 0.473                  | 0.900 | 0.946                 | 0.454 |
| 79.07               | 0.564                  | 0.957 | 1.020                 | -     |

**II -2- Valeurs des contraintes-déformations obtenues à la traction par fendage :**

**Béton blanc N°9**

Résistance à la traction par fendage

Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16  $\times$  32 cm

| Chargement en KN | Déf diamétrale 10-3 |
|------------------|---------------------|
|                  | 1                   |
| 0                | 0                   |
| 32.00            | 0.035               |
| 46.538           | 0.044               |
| 74.00            | 0.050               |
| 94.80            | 0.052               |
| 150.00           | 0.067               |
| 167.00           | 0.071               |
| 215.00           | 0.089               |
| 230.46           | -                   |

**Béton de fibres N°12**

Résistance à la traction par fendage

(avec fibres de 2 cm)

Essais sur éprouvettes cylindriques  $\phi$  16  $\times$  32 cm

| Chargement en KN | Déf diamétrale 10-3 |
|------------------|---------------------|
|                  | 1                   |
| 0                | 0                   |
| 13.46            | 0.506               |
| 25.00            | 0.866               |
| 31.15            | 1.300               |
| 38.46            | -                   |

### - Deuxième formulation (20 Kg de fibres/m<sup>3</sup>) :

Vues les mauvaises résistances obtenues du béton de fibres dosé à 20 Kg de fibres, nous avons décidé de ne pas mesurer les déformations qui sont insignifiantes, c'est pourquoi nous nous contentons de donner les valeurs des résistances obtenues lors des divers essais.

#### I - 1 - Résistance à la compression (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 18 | B 0         | 15.350                     | 555.00                 | 27.75                       |
| 19 | B 0         | 15.350                     | 548.00                 | 27.40                       |
| 20 | B 0         | 15.200                     | 531.30                 | 26.56                       |
| 21 | B 20        | 14.400                     | 45.53                  | 2.27                        |
| 22 | B 20        | 14.400                     | 35.38                  | 1.77                        |
| 23 | B 20        | 14.350                     | 38.46                  | 1.92                        |

- La contrainte moyenne de rupture du béton blanc = **27.24 Mpa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 20 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **1.99 Mpa**

#### I -2- Résistance à la traction par fendage (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 24 | B 0         | 15.150                     | 188.53                 | 2.35                        |
| 25 | B 0         | 15.250                     | 171.50                 | 2.13                        |
| 26 | B 0         | 15.170                     | 215.00                 | 2.67                        |
| 27 | B 20        | 14.450                     | 28.15                  | 0.35                        |
| 28 | B 20        | 14.400                     | 31.15                  | 0.39                        |
| 29 | B 20        | 14.400                     | 33.35                  | 0.41                        |

La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.38 Mpa**

La résistance moyenne de rupture du béton avec 20Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **0.38 Mpa**

#### I - 3 - Résistance à la traction par flexion (14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 30 | B 0         | 9.750                      | 17.50                  | 3.15                        |
| 31 | B 0         | 9.800                      | 16.30                  | 2.93                        |
| 32 | B 20        | 9.250                      | 4.20                   | 0.76                        |
| 33 | B 20        | 9.250                      | 6.30                   | 1.35                        |
| 34 | B 20        | 9.250                      | 4.30                   | 0.77                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **3.04 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 20 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **0.96 Mpa**

### - Troisième formulation (25 Kg de fibres/m<sup>3</sup>)

Vu les mauvaises résistances que nous avons obtenue du béton dosé à 25 Kg de fibres, nous avons décidé de ne pas mesurer les déformations qui sont insignifiantes, c'est pourquoi nous nous contentons de donner les valeurs des résistances obtenues lors des divers essais.

#### 1 - Résistance à la compression (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 35 | B 0         | 15.350                     | 550.00                 | 27.50                       |
| 36 | B 0         | 15280                      | 542.30                 | 27.11                       |
| 37 | B 0         | 15.250                     | 508.00                 | 25.40                       |
| 38 | B 25        | 14.180                     | 25.00                  | 1.25                        |
| 39 | B 25        | 14.150                     | 21.70                  | 1.09                        |
| 40 | B 25        | 14.190                     | 18.30                  | 0.92                        |

- La contrainte moyenne de rupture du béton blanc = **26.67 Mpa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 25 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **1.09 Mpa**

#### 2 - Résistance en traction par fendage (à 14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 41 | B 0         | 15.250                     | 206.41                 | 2.57                        |
| 42 | B 0         | 15.250                     | 165.38                 | 2.06                        |
| 43 | B 0         | 15.300                     | 183.00                 | 2.28                        |
| 44 | B 25        | 14.150                     | 17.36                  | 0.22                        |
| 45 | B 25        | 14.250                     | 25.69                  | 0.32                        |
| 46 | B 25        | 14.100                     | 18.00                  | 0.22                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.30 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 25 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **0.25 Mpa**

#### 3 - Résistance en traction par flexion (14 jours) :

| N° | Désignation | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 47 | B 0         | 9.750                      | 18.05                  | 3.250                       |
| 48 | B 0         | 9.700                      | 16.80                  | 3.024                       |
| 49 | B 25        | 9.200                      | 1.85                   | 0.340                       |
| 50 | B 25        | 9.000                      | 1.90                   | 0.342                       |
| 51 | B 25        | 9.100                      | 2.50                   | 0.450                       |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **3.14 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 25 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **0.38 Mpa**

# **Annexe - 4 -**



## Annexe 4

### Résultats de l'étude effectués sur des bétons dosés à 2 et 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup>

#### A – Résultats des contraintes de rupture dues aux différentes sollicitations.

Toutes les éprouvettes sont numérotées.

#### I – Sollicitations à la compression : (sur des éprouvettes cylindriques $\phi$ 16 × 32 cm).

##### I-1 Résistance à la compression à 7 jours :

| N° | Dosage en fibres en Kg/m <sup>3</sup> | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture Réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1  | 0                                     | 15.100                     | 413                         | 20.65                       |
| 2  | 0                                     | 15.100                     | 432                         | 21.60                       |
| 3  | 2                                     | 14.800                     | 335                         | 16.75                       |
| 4  | 2                                     | 14.750                     | 351                         | 17.55                       |
| 5  | 2                                     | 15.000                     | 360                         | 18.00                       |
| 6  | 4                                     | 14.800                     | 364                         | 18.20                       |
| 7  | 4                                     | 14.800                     | 374                         | 18.70                       |
| 8  | 4                                     | 14.800                     | 397                         | 19.85                       |

- La contrainte moyenne de rupture du béton blanc = **21.125 MPa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **17.43 Mpa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **18.92 Mpa**

##### I-2 Résistance à la compression à 14 jours :

| N° | Dosage en fibres en Kg/m <sup>3</sup> | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture Réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 9  | 0                                     | 15.000                     | 542.0                       | 27.10                       |
| 10 | 0                                     | 15.100                     | 566.5                       | 28.32                       |
| 11 | 2                                     | 14.950                     | 444.5                       | 22.23                       |
| 12 | 2                                     | 14.800                     | 426.0                       | 21.30                       |
| 13 | 2                                     | 14.850                     | 455.5                       | 22.78                       |
| 14 | 4                                     | 14.750                     | 490.0                       | 24.50                       |
| 15 | 4                                     | 14.750                     | 478.0                       | 23.90                       |
| 16 | 4                                     | 14.700                     | 438.0                       | 21.90                       |

- La contrainte moyenne de rupture du béton blanc = **27.71 MPa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **22.10 Mpa**
- La contrainte moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> = **23.43 Mpa**

## II - Sollicitations à la traction par fendage : (Sur des éprouvettes cylindriques $\phi 16 \times 32$ cm).

### II - 1 Résistance à la traction par fendage à 7 jours :

| N° | Dosage en fibres en $\text{Kg/m}^3$ | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 17 | 0                                   | 15.100                     | 146                         | 1.82                        |
| 18 | 0                                   | 15.150                     | 139                         | 1.73                        |
| 19 | 2                                   | 15.000                     | 189                         | 2.35                        |
| 20 | 2                                   | 14.800                     | 151                         | 1.88                        |
| 21 | 2                                   | 15.000                     | 147                         | 1.83                        |
| 22 | 4                                   | 14.700                     | 219                         | 2.70                        |
| 23 | 4                                   | 14.750                     | 202                         | 2.51                        |
| 24 | 4                                   | 14.750                     | 155                         | 1.93                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **1.775 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres = **2.020 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres = **2.380 Mpa**

### II - 2 Résistance à la traction par fendage à 14 jours :

| N° | Dosage en fibres en $\text{Kg/m}^3$ | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 25 | 0                                   | 15.100                     | 186.00                      | 2.31                        |
| 26 | 0                                   | 15.050                     | 176.00                      | 2.19                        |
| 27 | 2                                   | 15.000                     | 215.00                      | 2.67                        |
| 28 | 2                                   | 14.800                     | 227.00                      | 2.82                        |
| 29 | 2                                   | 15.000                     | 210.50                      | 2.62                        |
| 30 | 4                                   | 14.700                     | 252.50                      | 3.14                        |
| 31 | 4                                   | 14.750                     | 234.50                      | 2.92                        |
| 32 | 4                                   | 14.750                     | 249.50                      | 3.10                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.25 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres = **2.70 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres = **3.05 Mpa**

### III - Sollicitations à la traction par flexion : (sur des éprouvettes prismatiques 10 × 10 × 40 cm)

#### III - 1 Résistance à la traction par flexion à 7 jours :

| N° | Dosage en fibres en Kg/m <sup>3</sup> | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 33 | 0                                     | 9.600                      | 9.80                        | 1.77                        |
| 34 | 2                                     | 9.300                      | 12.50                       | 2.25                        |
| 35 | 2                                     | 9.400                      | 12.20                       | 2.20                        |
| 36 | 4                                     | 9.350                      | 12.30                       | 2.21                        |
| 37 | 4                                     | 9.450                      | 13.00                       | 2.34                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **1.77 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres = **2.23 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres = **2.28 Mpa**

#### II - 2 Résistance à la traction par flexion à 14 jours :

| N° | Dosage en fibres en Kg/m <sup>3</sup> | Poids des éprouvettes (Kg) | Effort de rupture réel (KN) | Contrainte de rupture (Mpa) |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 38 | 0                                     | 9.600                      | 12.40                       | 2.23                        |
| 39 | 2                                     | 9.300                      | 13.80                       | 2.48                        |
| 40 | 2                                     | 9.350                      | 13.65                       | 2.46                        |
| 41 | 4                                     | 9.400                      | 14.30                       | 2.57                        |
| 42 | 4                                     | 9.350                      | 14.70                       | 2.65                        |

- La résistance moyenne de rupture du béton blanc = **2.23 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 2 Kg de fibres = **2.47 Mpa**
- La résistance moyenne de rupture du béton avec 4 Kg de fibres = **2.61 Mpa**

## B - Résultats des déformations obtenues lors des différentes sollicitations.

Nous donnons comme abréviation :

$\xi_t$  : déformation transversale

$\xi_l$  : déformation longitudinale

• **Essais à la compression à 7 jours :**

Béton blanc N° 1,  $P_1 = 15.100 \text{ Kg}$   
 essai à la compression à 7 jours  
 éprouvette cylindrique  $\phi 16 \times 32 \text{ cm}$

| Forces réelles (KN) | Contraintes (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 25.6                | 1.28              | 0.010               | -                   | 0.010                 | 0.017               | 0.012               | 0.014                 |
| 37.0                | 1.85              | 0.016               | -                   | 0.016                 | 0.072               | 0.048               | 0.060                 |
| 62.5                | 3.12              | 0.024               | -                   | 0.024                 | 0.089               | 0.092               | 0.090                 |
| 78.0                | 3.90              | 0.038               | -                   | 0.038                 | 0.131               | 0.153               | 0.142                 |
| 95.0                | 4.75              | 0.042               | -                   | 0.042                 | 0.175               | 0.213               | 0.194                 |
| 117.5               | 5.88              | 0.064               | -                   | 0.064                 | 0.208               | 0.224               | 0.218                 |
| 149.0               | 7.45              | 0.071               | -                   | 0.071                 | 0.256               | 0.250               | 0.253                 |
| 171.5               | 8.58              | 0.090               | -                   | 0.090                 | 0.278               | 0.280               | 0.279                 |
| 206.5               | 10.32             | 0.105               | -                   | 0.105                 | 0.298               | 0.300               | 0.299                 |
| 209.5               | 10.48             | 0.124               | -                   | 0.124                 | 0.300               | 0.348               | 0.324                 |
| 238.5               | 11.93             | 0.128               | -                   | 0.128                 | 0.340               | 0.360               | 0.350                 |
| 266.0               | 13.30             | 0.142               | -                   | 0.142                 | 0.380               | 0.420               | 0.400                 |
| 297.0               | 14.85             | 0.155               | -                   | 0.155                 | -                   | 0.480               | 0.480                 |
| 326.0               | 16.30             | 0.176               | -                   | 0.176                 | 0.736               | 0.765               | 0.750                 |
| 361.0               | 18.05             | 0.228               | -                   | 0.228                 | 0.914               | 0.936               | 0.924                 |
| 376.0               | 18.80             | 0.299               | -                   | 0.299                 | 0.988               | 1.053               | 1.020                 |
| 413.0               | 20.65             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

**Béton de fibres à 2 Kg/m<sup>3</sup> N° 5, P<sub>5</sub> = 15.000 Kg**  
**essai à la compression à 7 jours**  
**éprouvette cylindrique  $\phi$  16 x 32 cm**

| Forces réelles (KN) | Contraintes (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | 0                   | 0                     |
| 25                  | 1.25              | 0.027               | -                   | 0.027                 | -                   | 0.013               | 0.013                 |
| 38.5                | 1.93              | 0.038               | -                   | 0.038                 | 0.070               | 0.061               | 0.0655                |
| 68.0                | 3.40              | 0.050               | -                   | 0.050                 | 0.114               | 0.112               | 0.113                 |
| 78.0                | 3.90              | 0.051               | -                   | 0.051                 | 0.164               | 0.182               | 0.173                 |
| 120.0               | 6.00              | 0.072               | -                   | 0.072                 | 0.238               | 0.257               | 0.247                 |
| 151.0               | 7.55              | 0.082               | -                   | 0.082                 | 0.309               | 0.306               | 0.307                 |
| 206.5               | 10.33             | 0.109               | -                   | 0.109                 | 0.432               | 0.410               | 0.421                 |
| 237                 | 11.85             | 0.136               | -                   | 0.136                 | 0.531               | -                   | 0.531                 |
| 306.0               | 15.30             | 0.458               | -                   | 0.458                 | -                   | 0.781               | 0.781                 |
| 360.0               | 18.00             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

Béton de fibres à 2 Kg/m<sup>3</sup> N° 4, P<sub>4</sub> = 14.750 Kg  
 essai à la compression à 7 jours  
 éprouvette cylindrique φ 16 × 32 cm

| Forces réelles (KN) | contraintes (MPA) | ε <sub>t1</sub> (‰) | ε <sub>t2</sub> (‰) | ε <sub>tmoy</sub> (‰) | ε <sub>l1</sub> (‰) | ε <sub>l2</sub> (‰) | ε <sub>lmoy</sub> (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 25                  | 1.25              | 0.015               | -                   | 0.015                 | 0.023               | -                   | 0.023                 |
| 40.0                | 2.00              | 0.035               | -                   | 0.035                 | 0.059               | -                   | 0.059                 |
| 66.5                | 3.33              | 0.043               | -                   | 0.043                 | 0.095               | -                   | 0.095                 |
| 77.0                | 3.85              | 0.044               | -                   | 0.044                 | 0.137               | -                   | 0.137                 |
| 94.80               | 4.74              | 0.057               | -                   | 0.057                 | 0.200               | -                   | 0.200                 |
| 126.0               | 6.30              | 0.066               | -                   | 0.066                 | 0.254               | -                   | 0.254                 |
| 146.0               | 7.30              | 0.076               | -                   | 0.076                 | 0.301               | -                   | 0.301                 |
| 171.5               | 8.58              | 0.092               | -                   | 0.092                 | 0.311               | -                   | 0.311                 |
| 206.5               | 10.33             | 0.106               | -                   | 0.106                 | 0.340               | -                   | 0.340                 |
| 225.5               | 11.28             | 0.120               | -                   | 0.120                 | 0.394               | -                   | 0.394                 |
| 262.0               | 13.10             | 0.141               | -                   | 0.141                 | 0.534               | -                   | 0.534                 |
| 301.0               | 15.05             | 0.515               | -                   | 0.515                 | 0.797               | -                   | 0.797                 |
| 351.0               | 17.55             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

Béton de fibres à 4 Kg/m<sup>3</sup> N° 6, P<sub>6</sub> = 14.800 Kg  
 essai à la compression à 7 jours  
 éprouvette cylindrique φ 16 × 32 cm

| Forces réelles (KN) | contraintes (MPA) | ε <sub>t1</sub> (‰) | ε <sub>t2</sub> (‰) | ε <sub>tmoy</sub> (‰) | ε <sub>l1</sub> (‰) | ε <sub>l2</sub> (‰) | ε <sub>lmoy</sub> (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 25.0                | 1.25              | 0.010               | -                   | 0.010                 | 0.041               | -                   | 0.041                 |
| 39.5                | 1.98              | 0.014               | -                   | 0.014                 | 0.067               | -                   | 0.067                 |
| 66.5                | 3.33              | 0.030               | -                   | 0.030                 | 0.112               | -                   | 0.112                 |
| 95.0                | 4.75              | 0.038               | -                   | 0.038                 | 0.165               | -                   | 0.165                 |
| 120.0               | 60.00             | 0.049               | -                   | 0.049                 | 0.220               | -                   | 0.220                 |
| 153.0               | 7.65              | 0.068               | -                   | 0.068                 | 0.306               | -                   | 0.306                 |
| 190.0               | 9.50              | 0.085               | -                   | 0.085                 | 0.372               | -                   | 0.372                 |
| 271.0               | 13.55             | 0.139               | -                   | 0.139                 | 0.613               | -                   | 0.613                 |
| 340.5               | 17.03             | 0.155               | -                   | 0.155                 | 0.940               | -                   | 0.940                 |
| 364.0               | 18.20             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

**Béton de fibres à 4 Kg/m<sup>3</sup> N°7, P<sub>7</sub> = 14.800 Kg**  
**essai à la compression à 7 jours**  
**éprouvette cylindrique  $\phi$  16 x 32 cm**

| Forces réelles (KN) | contraintes (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | 0                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 20                  | 0.995             | 0.007               | 0.011               | 0.009                 | 0.038               | -                   | 0.038                 |
| 42.499              | 2.115             | 0.007               | 0.020               | 0.0135                | 0.070               | -                   | 0.070                 |
| 67.265              | 3.348             | 0.02                | 0.045               | 0.0325                | 0.120               | -                   | 0.120                 |
| 77.955              | 3.880             | 0.023               | 0.045               | 0.034                 | 0.153               | -                   | 0.153                 |
| 128.812             | 6.411             | 0.042               | 0.067               | 0.0545                | 0.243               | -                   | 0.243                 |
| 157.612             | 7.845             | 0.049               | 0.091               | 0.070                 | 0.325               | -                   | 0.325                 |
| 210.576             | 10.481            | 0.071               | 0.111               | 0.091                 | 0.398               | -                   | 0.398                 |
| 276.125             | 13.744            | 0.117               | 0.170               | 0.1435                | 0.606               | -                   | 0.606                 |
| 374.052             | 18.618            | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |



- **Essais à la compression à 14 jours :**

Béton blanc N°9,  $P_9 = 15.000 \text{ Kg}$   
 essai à la compression à **14 jours**  
 éprouvette cylindrique  $\phi 16 \times 32 \text{ cm}$

| Forces réelles<br>(KN) | Contrainte<br>(MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$<br>(‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$<br>(‰) |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 0                      | 0                   | 0                   | 0                   | 0                        | 0                   | -                   | 0                        |
| 26.230                 | 1.305               | 0.007               | 0.004               | 0.005                    | 0.009               | -                   | 0.009                    |
| 38.460                 | 1.914               | 0.018               | 0.010               | 0.014                    | 0.064               | -                   | 0.064                    |
| 64.530                 | 3.212               | 0.028               | 0.016               | 0.022                    | 0.087               | -                   | 0.087                    |
| 76.920                 | 3.828               | 0.040               | 0.028               | 0.034                    | 0.134               | -                   | 0.134                    |
| 96.089                 | 4.782               | 0.044               | 0.32                | 0.038                    | 0.190               | -                   | 0.190                    |
| 117.380                | 5.842               | 0.060               | 0.057               | 0.058                    | 0.213               | -                   | 0.213                    |
| 148.873                | 7.410               | 0.070               | 0.061               | 0.065                    | 0.245               | -                   | 0.245                    |
| 165.380                | 8.232               | 0.090               | 0.079               | 0.084                    | 0.269               | -                   | 0.269                    |
| 206.410                | 10.274              | 0.101               | 0.095               | 0.098                    | 0.287               | -                   | 0.287                    |
| 222.242                | 11.062              | 0.120               | 0.107               | 0.113                    | 0.316               | -                   | 0.316                    |
| 238.460                | 11.869              | 0.130               | 0.118               | 0.124                    | 0.356               | -                   | 0.356                    |
| 266.150                | 13.247              | 0.141               | 0.134               | 0.137                    | 0.412               | -                   | 0.412                    |
| 271.137                | 13.496              | 0.149               | 0.138               | 0.143                    | 0.465               | -                   | 0.465                    |
| 306.050                | 15.233              | 0.154               | 0.150               | 0.152                    | 0.547               | -                   | 0.547                    |
| 326.000                | 16.226              | 0.160               | 0.161               | 0.160                    | 0.708               | -                   | 0.708                    |
| 361.160                | 17.977              | 0.224               | 0.217               | 0.220                    | 0.898               | -                   | 0.898                    |
| 394.062                | 19.614              | 0.293               | 0.286               | 0.289                    | 0.956               | -                   | 0.956                    |
| 466.604                | 23.225              | 0.307               | 0.302               | 0.304                    | 1.003               | -                   | 1.003                    |
| 542.300                | 26.993              | -                   | -                   | -                        | -                   | -                   | -                        |

Béton à 2 Kg de fibres/m<sup>3</sup> N°11, P<sub>11</sub> = 14.950 Kg  
 essai à la compression à 14 jours  
 éprouvette cylindrique φ 16 × 32 cm

| Forces réelles (KN) | Contraintes (MPA) | ε <sub>t1</sub> (‰) | ε <sub>t2</sub> (‰) | ε <sub>tmoy</sub> (‰) | ε <sub>l1</sub> (‰) | ε <sub>l2</sub> (‰) | ε <sub>lmoy</sub> (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | 0                   | 0                     |
| 25.0                | 1.25              | 0.029               | -                   | 0.029                 | 0.015               | 0.047               | 0.031                 |
| 42.0                | 2.10              | 0.049               | -                   | 0.049                 | 0.062               | 0.123               | 0.092                 |
| 71.0                | 3.50              | 0.067               | -                   | 0.067                 | 0.109               | 0.181               | 0.145                 |
| 93.0                | 4.65              | 0.093               | -                   | 0.093                 | 0.184               | 0.246               | 0.215                 |
| 116.5               | 5.83              | 0.095               | -                   | 0.095                 | 0.229               | 0.288               | 0.258                 |
| 147.0               | 7.35              | 0.119               | -                   | 0.119                 | 0.295               | 0.342               | 0.318                 |
| 165.5               | 8.28              | 0.137               | -                   | 0.137                 | 0.350               | 0.389               | 0.369                 |
| 214.0               | 10.70             | 0.160               | -                   | 0.160                 | 0.438               | 0.450               | 0.444                 |
| 232.5               | 11.63             | 0.179               | -                   | 0.179                 | 0.524               | 0.514               | 0.519                 |
| 254.0               | 12.70             | 0.191               | -                   | 0.191                 | 0.597               | 0.576               | 0.586                 |
| 282.0               | 14.10             | 0.219               | -                   | 0.219                 | 0.697               | 0.653               | 0.675                 |
| 327.0               | 16.35             | 0.269               | -                   | 0.269                 | 0.883               | 0.915               | 0.899                 |
| 335.0               | 16.75             | 0.327               | -                   | 0.327                 | 1.048               | 0.975               | 1.011                 |
| 444.5               | 22.23             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

**Béton à 2 Kg de fibres/m<sup>3</sup> N°12, P<sub>12</sub> = 14.800 Kg**  
**essai à la compression à 14 jours**  
**éprouvette cylindrique  $\phi$  16 x 32 cm**

| Forces réelles (KN) | Contrainte s (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                  | 0                   | 0                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 24.0                | 1.20               | 0.020               | 0.034               | 0.027                 | 0.045               | -                   | 0.045                 |
| 40.0                | 2.00               | 0.038               | 0.054               | 0.046                 | 0.090               | -                   | 0.090                 |
| 66.5                | 3.35               | 0.057               | 0.060               | 0.058                 | 0.134               | -                   | 0.134                 |
| 79.5                | 3.98               | 0.083               | 0.090               | 0.086                 | 0.193               | -                   | 0.193                 |
| 95.0                | 4.718              | 0.093               | 0.092               | 0.092                 | 0.220               | -                   | 0.220                 |
| 117.5               | 5.88               | 0.096               | 0.097               | 0.096                 | 0.261               | -                   | 0.261                 |
| 150.0               | 7.50               | 0.114               | 0.127               | 0.120                 | 0.321               | -                   | 0.321                 |
| 165.5               | 8.28               | 0.133               | 0.140               | 0.136                 | 0.368               | -                   | 0.368                 |
| 206.5               | 10.33              | 0.156               | 0.157               | 0.156                 | 0.437               | -                   | 0.437                 |
| 228.0               | 11.33              | 0.165               | 0.176               | 0.170                 | 0.516               | -                   | 0.516                 |
| 238.5               | 11.93              | 0.183               | 0.186               | 0.185                 | 0.562               | -                   | 0.562                 |
| 266.0               | 13.30              | 0.211               | 0.204               | 0.207                 | 0.643               | -                   | 0.643                 |
| 288.0               | 14.40              | 0.226               | 0.223               | 0.224                 | 0.678               | -                   | 0.678                 |
| 306.0               | 15.30              | 0.238               | 0.257               | 0.247                 | 0.777               | -                   | 0.777                 |
| 324.0               | 16.20              | 0.272               | 0.271               | 0.271                 | 0.907               | -                   | 0.907                 |
| 338.0               | 16.90              | 0.328               | 0.336               | 0.332                 | 0.921               | -                   | 0.921                 |
| 348.0               | 17.40              | 0.337               | 0.348               | 0.341                 | 0.948               | -                   | 0.948                 |
| 426                 | 21.30              | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

**Béton à 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> N°15, P<sub>15</sub> = 14.750 Kg**  
**essai à la compression à 14 jours**  
**éprouvette cylindrique  $\phi$  16  $\times$  32 cm**

| Forces réelles (KN) | contraintes (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 25                  | 1.25              | 0.022               | -                   | 0.022                 | 0.029               | -                   | 0.029                 |
| 38.5                | 1.93              | 0.038               | -                   | 0.038                 | 0.092               | -                   | 0.092                 |
| 66.5                | 3.33              | 0.051               | -                   | 0.051                 | 0.119               | -                   | 0.119                 |
| 79.0                | 3.95              | 0.067               | -                   | 0.067                 | 0.154               | -                   | 0.154                 |
| 95.0                | 4.75              | 0.085               | -                   | 0.085                 | 0.221               | -                   | 0.221                 |
| 117.5               | 5.88              | 0.091               | -                   | 0.091                 | 0.269               | -                   | 0.269                 |
| 150.0               | 7.50              | 0.115               | -                   | 0.115                 | 0.318               | -                   | 0.318                 |
| 165.5               | 8.28              | 0.139               | -                   | 0.139                 | 0.371               | -                   | 0.371                 |
| 206.5               | 10.33             | 0.147               | -                   | 0.147                 | 0.427               | -                   | 0.427                 |
| 208.0               | 10.40             | 0.171               | -                   | 0.171                 | 0.453               | -                   | 0.453                 |
| 238.5               | 11.93             | 0.186               | -                   | 0.186                 | 0.517               | -                   | 0.517                 |
| 272.0               | 13.60             | 0.188               | -                   | 0.188                 | 0.621               | -                   | 0.621                 |
| 286.0               | 14.30             | 0.213               | -                   | 0.213                 | 0.680               | -                   | 0.680                 |
| 306.0               | 15.30             | 0.240               | -                   | 0.240                 | 0.783               | -                   | 0.783                 |
| 327.0               | 16.35             | 0.270               | -                   | 0.270                 | 0.904               | -                   | 0.904                 |
| 338.0               | 16.90             | 0.330               | -                   | 0.330                 | 1.094               | -                   | 1.094                 |
| 349.5               | 17.48             | 0.340               | -                   | 0.340                 | 1.134               | -                   | 1.134                 |
| 373.0               | 18.65             | 0.359               | -                   | 0.359                 | 1.168               | -                   | 1.168                 |
| 384.5               | 19.23             | 0.370               | -                   | 0.370                 | 1.174               | -                   | 1.174                 |
| 478.0               | 23.90             | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

Béton à 4 Kg de fibres/m<sup>3</sup> N°16, P<sub>16</sub> = 14.700 Kg  
 essai à la compression à 14 jours  
 éprouvette cylindrique  $\phi$  16 × 32 cm

| Forces réelles (KN) | contraintes (MPA) | $\epsilon_{t1}$ (‰) | $\epsilon_{t2}$ (‰) | $\epsilon_{tmoy}$ (‰) | $\epsilon_{l1}$ (‰) | $\epsilon_{l2}$ (‰) | $\epsilon_{lmoy}$ (‰) |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   | -                   | 0                     | 0                   | -                   | 0                     |
| 22.692              | 1.129             | 0.030               | -                   | 0.030                 | 0.037               | -                   | 0.037                 |
| 36.998              | 1.841             | 0.048               | -                   | 0.048                 | 0.094               | -                   | 0.094                 |
| 66.530              | 3.311             | 0.057               | -                   | 0.057                 | 0.129               | -                   | 0.129                 |
| 76.920              | 3.828             | 0.077               | -                   | 0.077                 | 0.166               | -                   | 0.166                 |
| 98.667              | 4.911             | 0.093               | -                   | 0.093                 | 0.227               | -                   | 0.227                 |
| 117.380             | 5.842             | 0.105               | -                   | 0.105                 | 0.275               | -                   | 0.275                 |
| 145.960             | 7.265             | 0.119               | -                   | 0.119                 | 0.332               | -                   | 0.332                 |
| 177.689             | 8.844             | 0.145               | -                   | 0.145                 | 0.385               | -                   | 0.385                 |
| 208.076             | 10.357            | 0.159               | -                   | 0.159                 | 0.431               | -                   | 0.431                 |
| 223.076             | 11.103            | 0.173               | -                   | 0.173                 | 0.467               | -                   | 0.467                 |
| 238.460             | 11.869            | 0.188               | -                   | 0.188                 | 0.523               | -                   | 0.523                 |
| 269.142             | 13.396            | 0.208               | -                   | 0.208                 | 0.633               | -                   | 0.633                 |
| 285.102             | 14.191            | 0.227               | -                   | 0.227                 | 0.386               | -                   | 0.386                 |
| 307.040             | 15.283            | 0.258               | -                   | 0.258                 | 0.811               | -                   | 0.811                 |
| 326.000             | 16.226            | 0.278               | -                   | 0.278                 | 0.924               | -                   | 0.924                 |
| 337.134             | 16.781            | 0.336               | -                   | 0.336                 | 1.107               | -                   | 1.107                 |
| 361.160             | 17.977            | 0.352               | -                   | 0.352                 | 1.163               | -                   | 1.163                 |
| 373.466             | 18.589            | 0.369               | -                   | 0.369                 | 1.174               | -                   | 1.174                 |
| 438.218             | 21.812            | -                   | -                   | -                     | -                   | -                   | -                     |

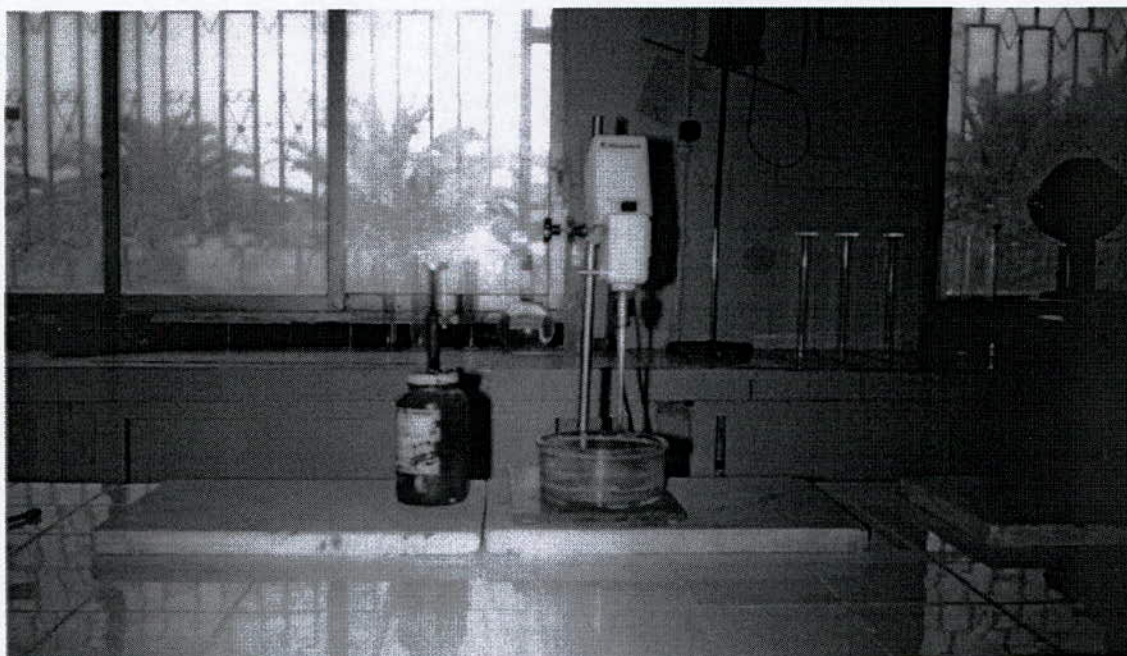
# **Annexe photos**



**Photo - 1 - Le malaxeur**



**Photo - 2 - La cuve**



**Photo - 3 - Appareillage pour l'essai du bleu de méthylène**

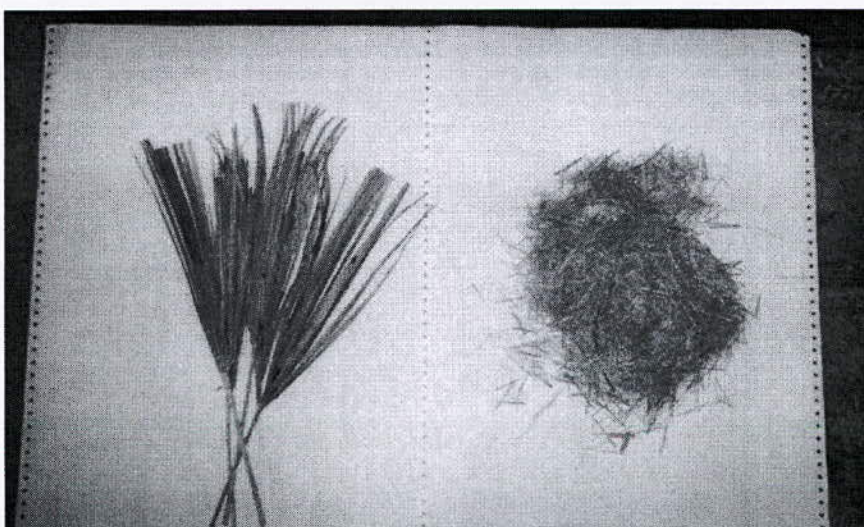




**Photo – 4 –** La machine de Los Angeles



**Photo – 5 –** Machine Micro Deval

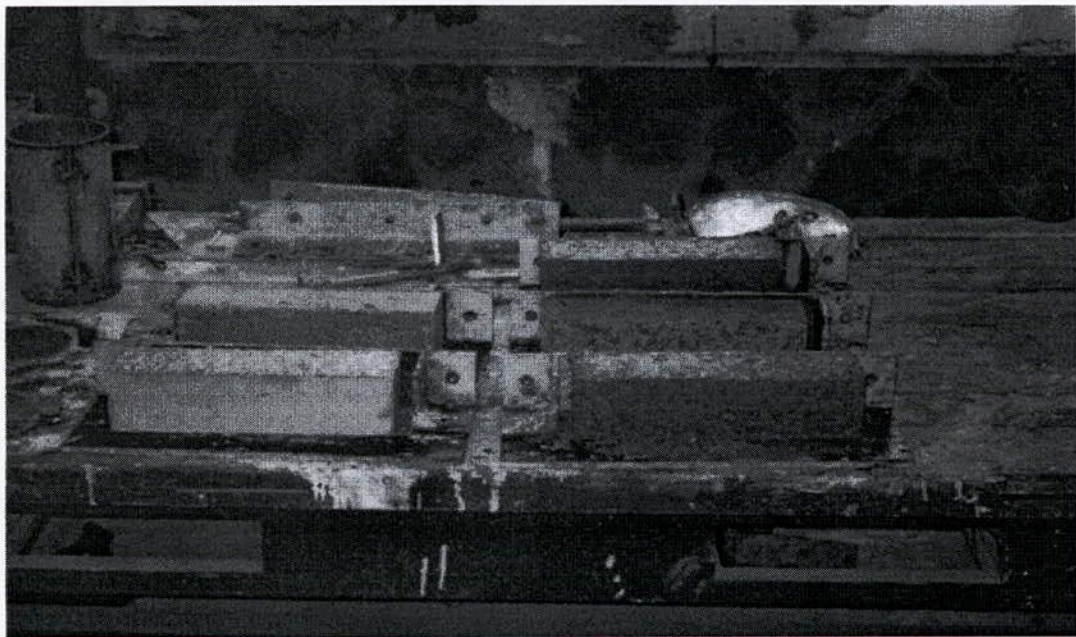


**Photo – 6 -** Le défibrage manuel des palmes



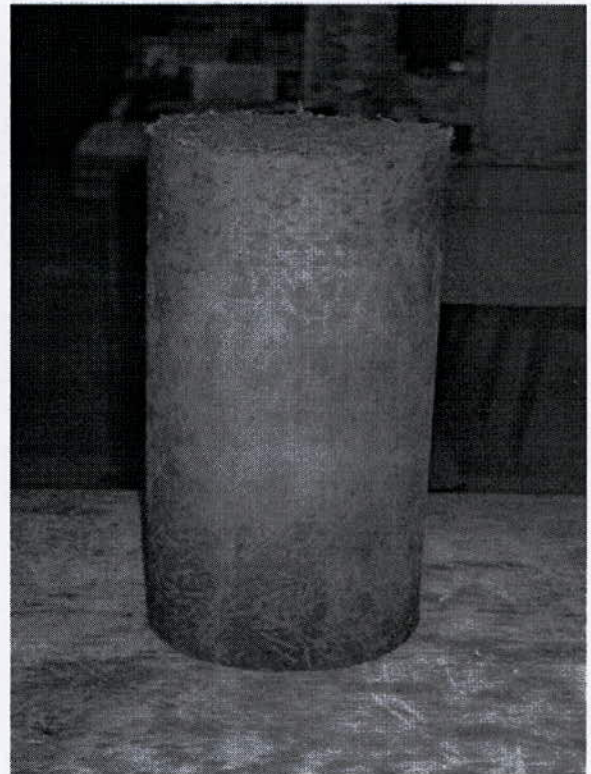
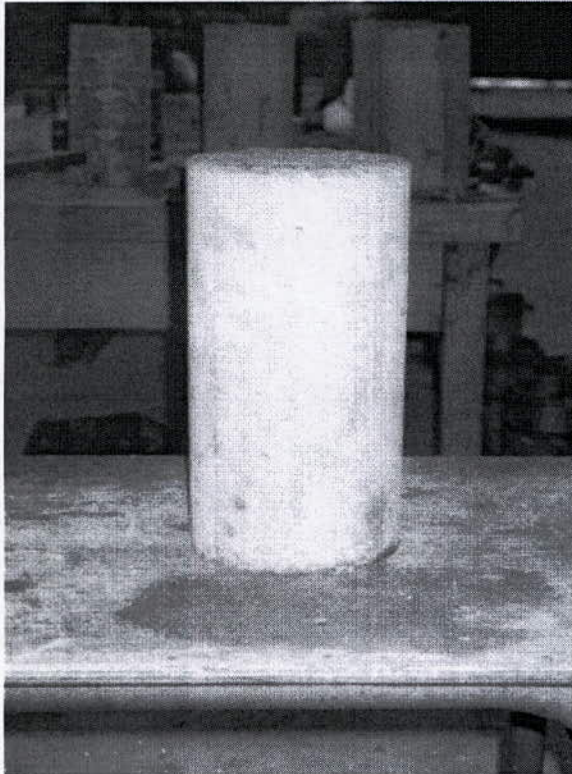


**Photo – 7 –** A gauche les éprouvettes cylindriques de béton blanc  
A droite les éprouvettes cylindriques de béton de fibres

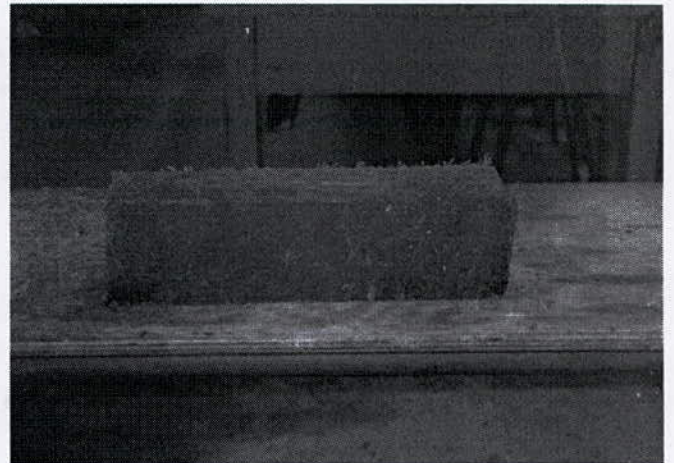


**Photo – 8 –** A gauche les éprouvettes prismatiques de béton blanc  
A droite les éprouvettes prismatiques de béton de fibres



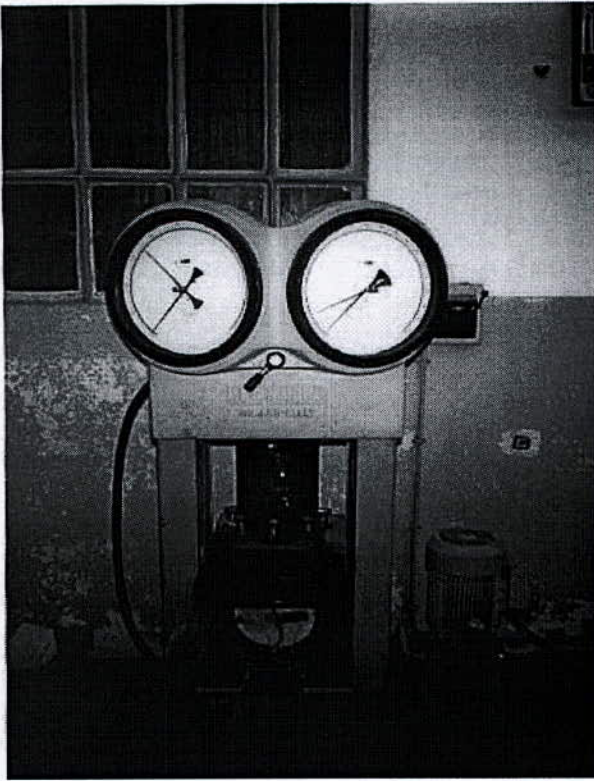


**Photo – 9 –** A droite éprouvette cylindrique de béton de fibres  
A gauche éprouvette cylindrique de béton blanc



**Photo – 10 –** A droite éprouvette prismatique de béton de fibres  
A gauche éprouvette prismatique de béton blanc

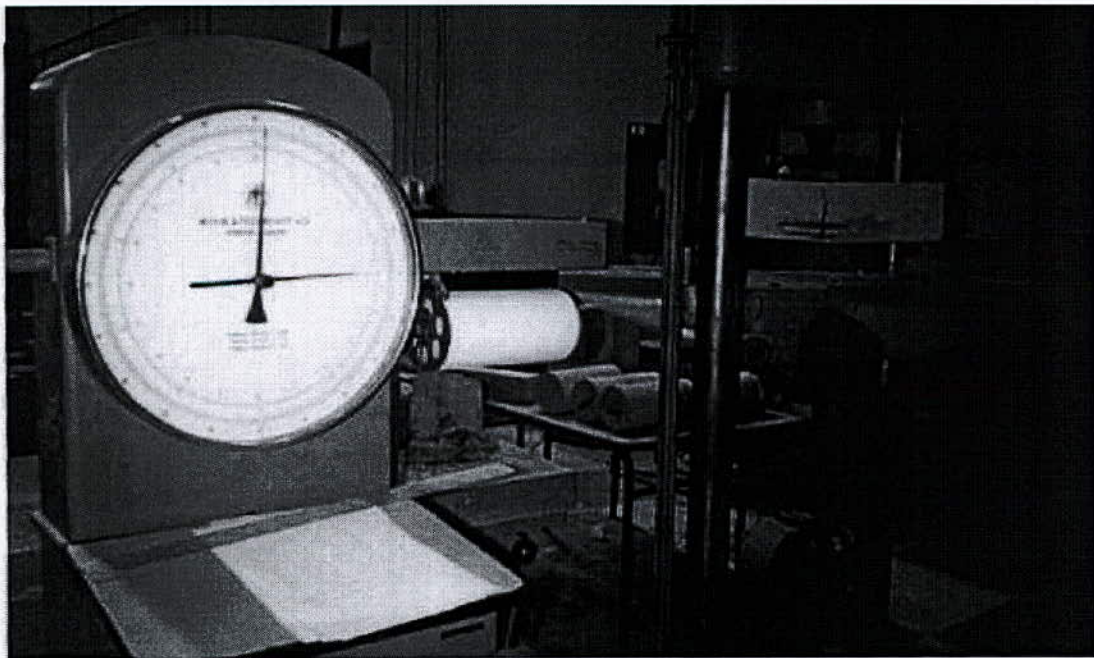




**Photo – 11** – Essai de traction par fendage

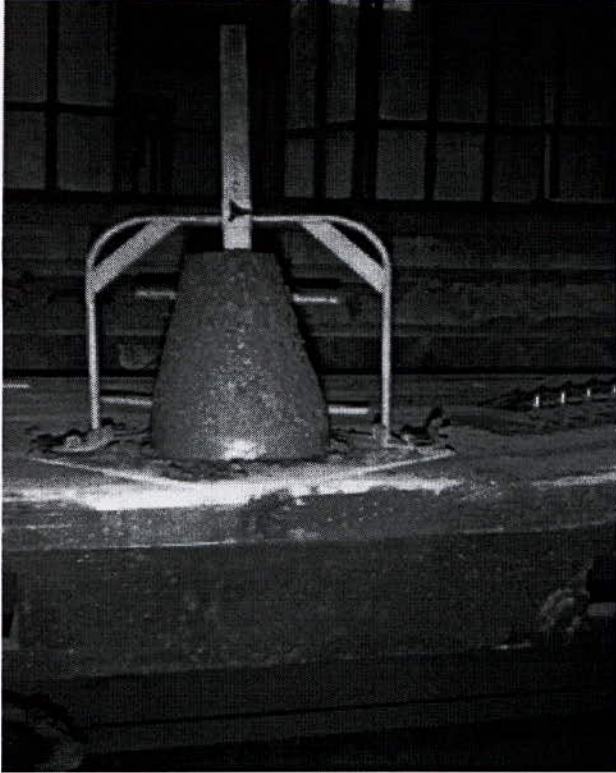


**Photo – 12** – Essai de compression

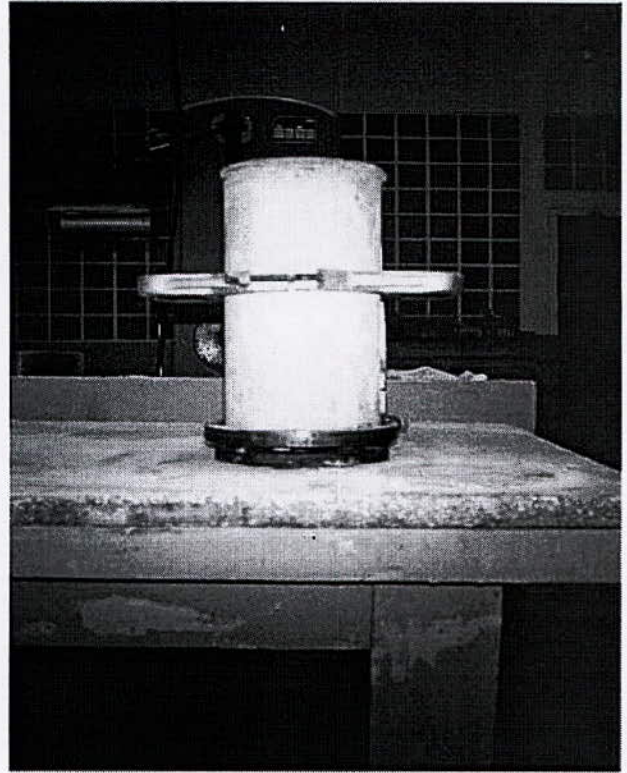


**Photo – 13** – Essai de traction par flexion

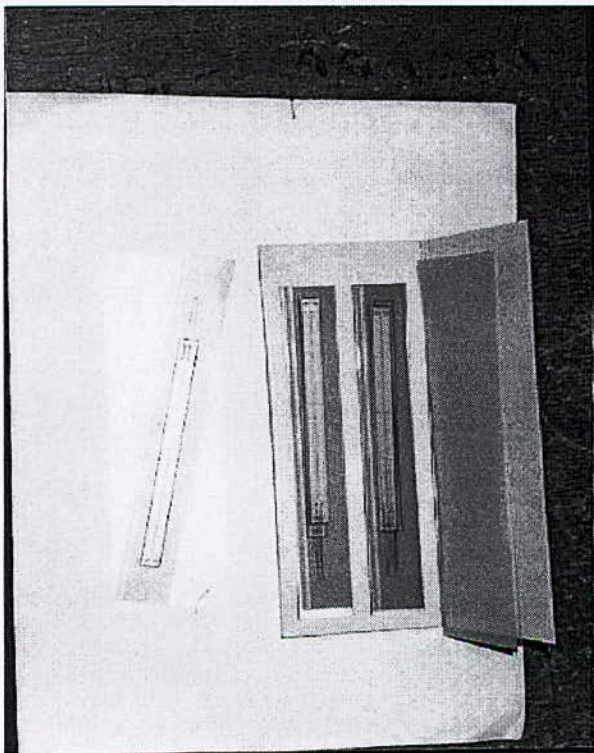




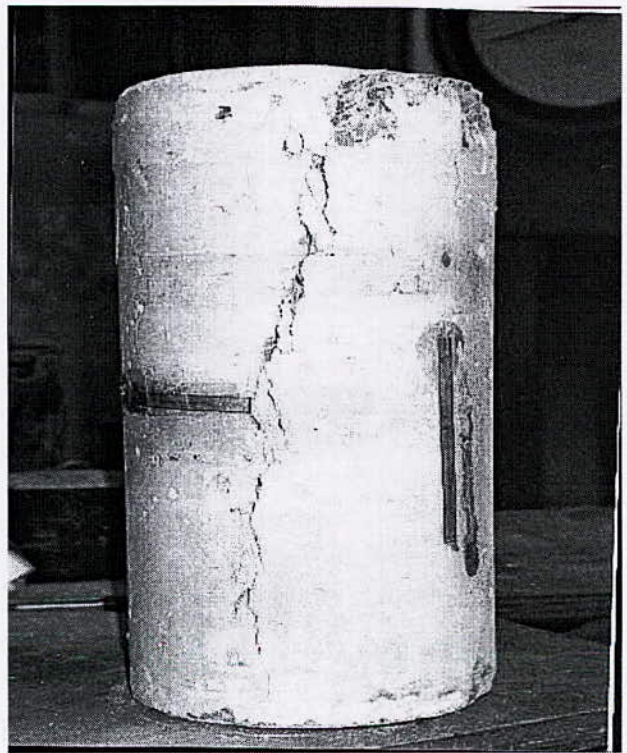
**Photo – 14** – Essai de maniabilité



**Photo – 15** – Le surfacage

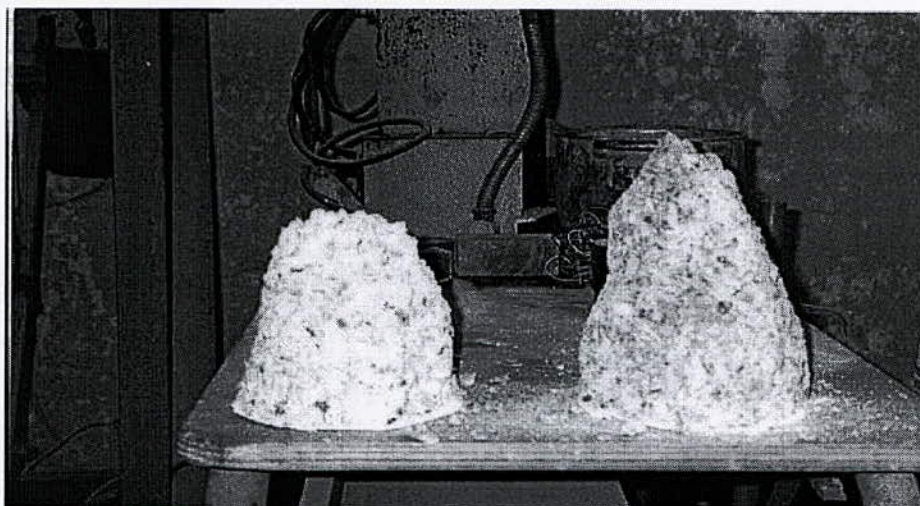


**Photo – 16** – Les jauges ohmiques

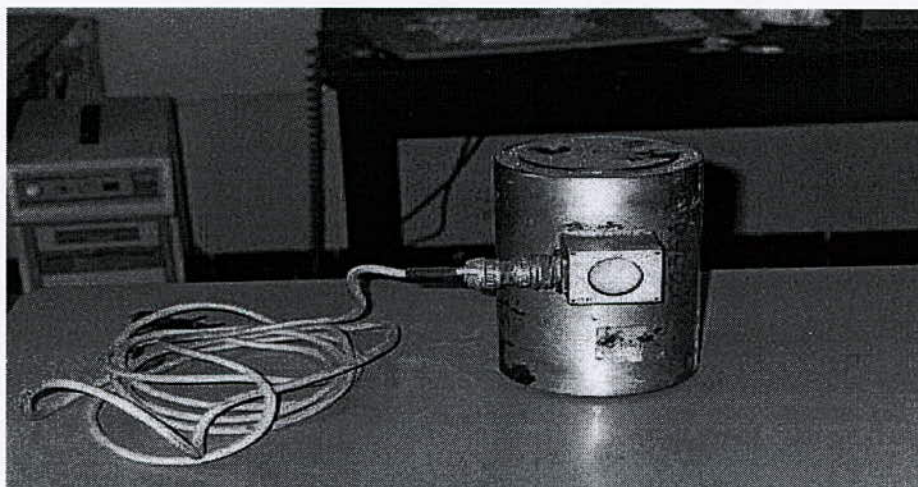


**Photo – 17** – Fissuration d'une éprouvette dans un essai de compression





**Photo – 18 –** Obtention de cônes après écrasement dans l'essai de compression



**Photo – 19 –** Le capteur inductif



**Photo – 20 –** Le pont d'extensométrie

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie

- 1 - I.S.G.P, ' Guide Méthodologique Pour L'élaboration D'un Mémoire '.
- 2 - H.RENAUD, F.LELETRE, ' Ouvrage en béton armé – Gros œuvre '.
- 3 - H. H. ABDEL-RAHMAN, R. AL-JURUF, F. AHMAD et I. ALAM, ' Caractéristiques Physique, Mécanique Et Durabilité De La Fibre Du Palmier Dattier Comme Renforcement Dans Le Béton ', Presse étrangère des matrices en ciment, Edité en Angleterre, Volume 10, numéro 3, août 1988, 07 pages.
- 4 - R. CABRILLAC, ' Etude Comparative Des Bétons De Fibres Métalliques, Verre Et De Bambou ', Annales de L'I.T.B.T.P, Edité par S.E.B.T.P, 1992, N° 504, Série : Béton 290, 10 pages.
- 5 - GERARD BERNIER, ' Caractérisation et Contrôle des Bétons renforcés De Fibres 'Annales de L'I.T.B.T.P, Edité par S.E.B.T.P, 1991, N° 494, Série : Béton 280, 13 pages.
- 6 - Mme A. M. PAILLERE, ' Le Béton De Fibres Métalliques. Etat Actuel Des Connaissances ', Annales de L'I.T.B.T.P, Edité par S.E.B.T.P, 1993, N° 515, Série : Béton 302, 29 pages.
- 7 - Bulletin de liaison des membres du RESEAU ARBRES TROPICAUX, ' Le Flamboyant ', France, décembre 1993, N° 28, 10 pages
- 8 - M. JANIN C.N.R.F, 'Structure, Composition, Formation Du Bois, A3 : CHIMIE', Association pour la recherche sur le bois en Lorraine', 1983.

### Disponibles à L'ENP :

- 9 - KEGAN, ' Dictionnaire Technique Anglais-Français '
- 10 - M, DURIEZ, ' Traite De Materiaux De Construction ', Paris, Edition Dunod, 1950, 799 pages, côte 666.690 DUR
- 11 - DREUX GEORGES, ' Nouveau Guide Du Béton ', Paris, Edition Eyrolles, 1985, 312 pages, côte 666.98 DRE
- 12 - JACQUES BARON ET RAYMOND SAUTEREY, ' Le Béton Hydraulique', Paris, Presses de l'école des ponts et chaussées, 1982, 560 pages, côte 691.32 ECO.
- 12 - MICHEL ADAM, 'Béton Hydraulique ; Variétés De Bétons Et Constituants', Encyclopédie – Technique De L'ingénieur c 2210, 1984, 16 pages.