

## INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau plutôt fragile dont les caractéristiques de compression sont beaucoup plus importantes que celles de traction. Pour améliorer ces dernières, le béton a été renforcé avec des armatures en acier. Le composite qui en résulte est le béton armé. Ce matériau présente cependant, deux inconvénients majeurs :

- le matériau est fortement hétérogène et son comportement est toujours de type fragile, particulièrement en traction ;
- sa mise en œuvre est parfois difficile à cause de la complexité du ferrailage.

En vue de mettre au point un matériau composite de comportement ductile en traction, des expériences visant à remplacer les armatures par des fibres ont été menées. Les fibres dont le rôle est de conférer au béton une certaine homogénéité structurale, une bonne résistance à la traction et un bon comportement post-rupture sont noyées dans une matrice en béton de manière plus ou moins aléatoire (considérée comme uniforme dans l'espace) tant au niveau de la distribution que de l'orientation.

Depuis le début des années soixante beaucoup de recherches sont faites sur le béton de fibres, notamment en ce qui concerne ses propriétés mécaniques et le procédé de sa mise en œuvre. Il ressort de ces travaux que ce composite présente une bonne résistance à la traction, au choc, à la fatigue et surtout un comportement ductile après la première fissuration. Il est aussi de mise en œuvre facile. De par ses propriétés, l'utilisation du béton de fibres est orientée principalement vers la réalisation de plaques minces telles que les dallages industriels, les routes, les pistes d'aéroport, les murs de soutènement, les pieux, les murs de façade...

Les fibres utilisées comme moyen de renforcement du béton sont les fibres d'acier, de verre, de fonte, de polypropylène et en matière plastique. Cependant, les plus utilisées sont les fibres métalliques et polypropylène.

L'objet de notre étude est de rechercher un meilleur compromis entre une bonne maniabilité du béton et une meilleure résistance à la traction. Le travail effectué consiste en la réalisation de plusieurs séries d'éprouvettes, en faisant varier 1.5% de fibres.

Dans cette étude, les fibres utilisées proviennent du marché de TIZI OUZOU, sous forme d'un rouleau de grillage, que nous avons ensuite découpé, pour avoir la forme et la taille désiré, dans le but de leur conféré un meilleur ancrage dans la matrice . Plusieurs séries d'éprouvettes en béton, renforcées par ces fibres à différents pourcentages, ont été réalisées. Des essais de poinçonnement et de compression ont été par la suite effectués sur ces mêmes éprouvettes.

Le premier chapitre de ce travail est consacré à l'étude bibliographique qui fait une synthèse sur les bétons en général, et les bétons de fibres métalliques et polypropylène en particulier.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, dans laquelle on décrit la méthode dite "Dreux-Gorisse", utilisée pour le calcul des masses des composants du béton. Puis, on détermine la masse des fibres à incorporer dans le béton pour les pourcentages de 0,75 ; 0,5; 1 ; et 1,5% en volume, des essais de compression sur des cylindre (10x20) cm et de poinçonnement sur des dalles (23x28x3) cm, sont réalisés à l'âge de 28 jours.

Les différentes courbes contrainte- déformation ont été enregistrées pour chaque type d'essai et y sont interprétées.

Enfin une conclusion générale est proposée avec quelques perspectives. Elle met en évidence l'intérêt de l'utilisation des fibres hybride dans le béton.

## **I-1 Généralité sur le béton :**

### **Introduction :**

L'ingénieur **BELIDOR**, auteur de L'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats et, le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment)  $t/m^3$  ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0,5  $\mu m$  (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons).

Dans les bétons où une très grande compacité est recherchée (tels que les Bétons à Hautes Performances, par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1  $\mu m$  (fillers, fumée de silice). De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100  $kg/m^3$ .

La pâte (ciment + eau), élément actif du béton enrobe les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. La pâte joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci.



Figure 1.1 : La première réalisation en béton armé  
Barque de Joseph Louis Lambot 1849.



Figure 1.2 : Pont bi-poutres de Chazelet, 1875, Joseph Monier

### **1-1 les constituants du béton :**

Le béton varie en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2 500  $kg/m^3$  environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.

Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6 000  $kg/m^3$  servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.

Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut, néanmoins, être élevée, sont employés dans le bâtiment.

Les bétons cellulaires peuvent répondre aux problèmes d'isolation dans le bâtiment.

Les bétons fibrés, plus récents, correspondent à des usages très variés : dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain. [1]

## **1-2 composition du béton :**

L'étude d'une composition de béton consiste 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 dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage [2].

Il existe de nombreuses méthodes dont on retiendra 2 archétypes :

- Celle qui consiste à obtenir une granularité « continue » ;
- Celle qui consiste à obtenir une granularité « discontinue ».

### **I.2.1 Critères en fonction de la destination des bétons :**

Les ouvrages que l'on construit aujourd'hui en béton sont des plus divers tant dans doit en tenir compte. Il convient donc d'en définir les critères qui devront constituer clairement les données de l'énoncé du problème que pose l'étude de la composition d'un béton destiné à un ouvrage donné. Quatre critères principaux doivent être retenus [2] :

- La dimension maximale des granulats ;
- La résistance ;
- L'ouvrabilité ;
- L'agressivité du milieu ambiant.

Ces critères sont retenus dans la norme P 18-305 concernant les bétons prêts à l'emploi préparés en usine et sont la base de l'énoncé du problème dans la méthode de Dreux et Gorisse [2].

#### **I.2.1.1 Dimension maximale D des granulats :**

Cette dimension dépend évidemment des dimensions de l'ouvrage (barrages, digues et murs de quai, structures de bâtiments, voiles minces, etc. ...), mais elle dépend également des dispositions du ferrailage (densité relative par rapport au coffrage, maillage). Une valeur admissible de D est préconisée par Georges Dreux [2] (tableau 1.1).

**Tableau 1.1 : Dimension admissible D pour les plus gros granulats**

Caractéristiques de la pièce à bétonner	Valeur maximale de D
e espacement entre les armatures principales	e
r rayon moyen des mailles de ferrailage	0,8 r
R rayon moyen de moule	R
$h_m$ épaisseur minimale de la pièce	$h_m/5$

Le rayon moyen r d'une maille de ferrailage est le rapport entre la surface de la maille et son périmètre. Le rayon moyen R du moule est le rapport entre le volume à remplir dans la zone la plus ferrillée et la surface de coffrage et d'armatures en contact avec le béton.

Pour l'épaisseur d'enrobage des armatures les plus proches du coffrage (c), des recommandations sont faites par le Comité euro-international du béton (CEB) [2] et le règlement BAEL [2] - article A.7.1 (tableau. 1.2).

**Tableau1.2 : Enrobage minimal c des armatures :**

<b>Milieu ambiant</b>	<b>c minimal (CEB)</b>	<b>D maximal (CEB)</b>	<b>c minimal (BAEL 99)</b>
Locaux couverts et clos	<b>1 cm</b>	<b>2 c</b>	<b>1cm</b>
Exposition aux intempéries	<b>2 cm</b>	<b>1,5 c</b>	<b>3cm</b>
Milieu agressif	<b>3 cm</b>	<b>C</b>	<b>3cm</b>
Milieu très agressif	<b>4 cm</b>	<b>c-5 mm</b>	<b>5cm</b>

**Nota : c doit, par ailleurs être supérieur ou égal au diamètre des armatures (ou à la largeur du paquet d'armatures).**

### **I.2.1.2 Résistance souhaitée:**

D'après les résultats de la note de calcul d'un ouvrage, on définit la résistance caractéristique à exiger en valeur minimale pour le béton utilisé. Cette résistance caractéristique se calcule d'après des résultats sur éprouvettes de contrôle (soumises à la rupture) en déduisant de la moyenne k fois l'écart type (sur l'ensemble des valeurs). Il convient donc que l'on vise dans l'étude du béton une valeur moyenne probable supérieure à la résistance caractéristique exigée.

D'après les règlements en vigueur, on prend pour k la valeur de 0,85 à 1,2 en général et selon les cas, il convient de viser une résistance moyenne d'environ 15 à 20 % supérieure à la résistance caractéristique exigée.

Ce critère de résistance conduira au choix du ciment (nature, classe) et à son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport G/S (proportion gravier/sable).

### **I.2.1.3 Agressivité du milieu ambiant :**

Le milieu ambiant dans le quel se trouvera l'ouvrage conditionnera également, selon son agressivité, l'étude de la composition du béton. La présence d'eaux agressives (eaux de mer, gypseuse, acides, très purs, etc.) et les conditions thermiques d'utilisation (revêtements de fours ou ouvrage à des gels sévères) sont des considérations qui conditionnent surtout le choix du ciment et éventuellement la nature minéralogique des granulats, et parfois l'utilisation d'un adjuvant.

### **I.2.2 Formulation des bétons :**

Les méthodes proposées sont nombreuses ; elles aboutissent à des dosages volumétriques ou, de préférence pondéraux.

Le passage de l'un à l'autre pouvant se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac, on citera [3] :

- Méthode de BOLOMEY ;
- Méthode d'ABRAMS ;
- Méthode de FAURY ;
- Méthode de VALETTE ;

- Méthode de BARON-LESAGE ;
- Méthode de DREUX et GORISSE....

### **I.2.2.1 Méthode de BOLOMEY :**

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser, avec les granulats dont on dispose, une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe est aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

#### **Avec :**

- P Pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d ;
- D Diamètre du plus gros grain ;
- A Varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. Cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue.

### **I.2.2.2 Méthode d'ABRAMS :**

C'est une règle de mélange fondée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour un mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Cette règle de mélange d'ABRAMS permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de modules de finesse  $M_{f1}$  et  $M_{f2}$  pour obtenir un module  $M_f$  choisi pour le mélange.

### **I.2.2.3 Méthode de FAURY :**

FAURY a distingué les grains fins et moyens ( $< D/2$ ) des gros grains ( $> D/2$ ) la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites. L'abscisse du point de rencontre des deux droites est fixée à  $D/2$  et son ordonnée Y est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{\frac{D}{R}} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Le paramètre A est choisit dans un tableau et D est exprimée en dimension passoire.

B varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

R est le rayon du moule.

### **I.2.2.4 Méthode de VALLETTE :**

Dans les cas les plus courants on partira, en général, de deux granulats : un sable 0/5 mm et un gravier présentant une certaine discontinuité avec le sable 16/25mm ; par exemple, On calcule le dosage de sable qui s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pate pure de ciment. On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors un béton plein avec un maximum de sable et le moins dosé (en ciment).

### **I.2.2.5 Méthode de BARON-LESAGE :**

Elle a pour objet d'obtenir sur chantier un béton comportant le minimum de vides et d'eau. L'étude peut être faite soit à partir de mesures de compacité, soit à partir de mesures de temps d'écoulement. Celle-ci est fondée sur l'existence d'une fonction qui caractérise le mélange des constituants solides et sur le repérage pratique de cette fonction. Une propriété de cette dernière est d'avoir la valeur maximale pour le meilleur béton et ce quelles que soient les conditions de mise en œuvre et la teneur en eau.

La méthode consiste ainsi à déterminer les proportions des constituants pour que ladite fonction soit maximale.

### **I.2.2.6 Méthode DREUX et GORISSE :**

La résistance et l'ouvrabilité désirées conduisent à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau. Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment, plasticité, intensité du serrage, module de finesse du sable, etc.

Cette courbe de référence permet de doser les proportions, en volume absolu, des différents granulats dont on dispose. Enfin la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désiré. Il s'agit ensuite d'exécuter quelques essais sur ce béton pour apporter à cette formule les corrections expérimentales nécessaires.

## **I-3 Quelques propriétés du béton :**

### **3.1 Ouvrabilité :**

Le terme ouvrabilité est couramment utilisée pour désigner la facilité avec laquelle le béton est mis en place.

Une définition rigoureuse est très difficile car elle est intimement liée à :

- ❖ La compacité : Aptitude du béton à être compacte et l'air qu'il contient à être chassé.
- ❖ La mobilité : Facilité avec laquelle le béton coule, enrobe les armatures et remplit les moules.
- ❖ La stabilité : Propriété du béton à rester stable et en masse cohérente durant le transport et la vibration. [4]

Par ailleurs, l'ouvrabilité n'étant pas une propriété fondamentale du béton, il s'agit à chaque fois de spécifier le type d'ouvrage et les méthodes de mise en place, de vibration et de finition adoptées pour pouvoir en juger. Il n'existe donc pas de test unique permettant de mesurer efficacement toutes les propriétés attachées à l'ouvrabilité.

Divers facteurs peuvent agir sur l'ouvrabilité et il est plus approprié de considérer leur effet sur la consistance et la cohésion du béton, parmi ces facteurs : le dosage en eau, en ciment, les granulats et les adjuvants éventuels. [4]

### **3.2 Durabilité :**

La durabilité d'un béton renvoie à son aptitude à résister, aux différents âges et en service, à son environnement. Il est essentiel qu'il résiste aux agents agressifs de toute nature. La durabilité d'un béton est en étroite relation avec sa perméabilité : une faible perméabilité rend le béton plus résistant aux agents atmosphérique (humidité, cycles de gel-dégel...).

En général, les facteurs augmentant la résistance d'un béton, réduisant sa perméabilité et améliorent ainsi sa durabilité : E/C faible, bon compactage. [4]

#### **3.2.1 Résistance mécanique :**

La première considération dans les calculs structuraux en béton est que, ce matériau doit être assez résistant pour supporter les charges qui lui serrent appliquées c'est-à-dire les contraintes dans les différents composants ne doivent pas excéder leur propre résistance, au risque de provoquer leur ruine.

La résistance d'un matériau peut se définir comme la contrainte à laquelle intervient la rupture, celle-ci coïncidant avec une perte inacceptable de la performance. En béton, cela est synonyme d'un degré de rupture pour lequel la contrainte appliquée atteint une valeur maximale.

#### **3.2.2 Résistance à la compression :**

La résistance à la compression est l'une des propriétés mécanique du béton qui permet de juger de sa qualité. Néanmoins, sa détermination est variable d'un pays à un autre.

Aux U.S.A, elle est déterminée à 28 jours sur des cylindres de (15x30) cm selon la norme A.S.T.M C39.

En Grande- Bretagne, elle l'est plutôt sur des cubes de 15cm selon la norme B.S 1881 tandis qu'en France, on utilise les cylindres de (16x32) cm selon la norme N.F p 18-400. [4]

#### **3.2.3 Facteurs influençant sur la résistance à la compression :**

La réponse du béton à une contrainte appliquée est le résultat d'interaction complexe entre divers facteurs. par commodité, nous les classerons comme suit :

- ❖ Caractéristiques et propriétés des composants : rapport E/C, type de ciment, gros granulats et eau de gâchage,
- ❖ Condition de cure : durée, humidité, température,
- ❖ Paramètres liés à l'essai : caractéristiques des échantillons et conditions de chargement.

#### **3.2.4 Résistance à la traction :**

Si la résistance à la compression est un bon indicateur de la qualité du béton (la résistance du béton), il devrait donc exister une relation directe entre celle-ci et la résistance à la traction. Cela est exact en première approximation. Ces corrélations dépendent en effet de la méthode d'essai (direct, fendage ou par flexion), de la qualité du béton (basse, moyenne ou haute résistance), des caractéristiques des granulats et des ajouts chimiques ou minéraux. [5]

### **1.1 Le retrait :**

Le retrait par définition est le raccourcissement du béton non chargé, pendant son durcissement, l'évaporation de l'eau de gâchage en excès, non combiné au ciment qui provoque le retrait. Avant la prise le béton peut être sujet à un retrait important qui s'exerce aussitôt après son coulage. Ce retrait avant prise, peut atteindre plusieurs millimètres par mètre, mais comme il s'exerce sur un béton encore déformable, il ne donne pas naissance à de contraintes dangereuses et il n'est à redouter que pour les pièces minces, dont il peut amener la fissuration. Il est possible de l'éviter en adoptant des dispositions qui interdisent l'évaporation de l'eau en surface, le retrait après prise est d'une intensité plus faible mais comme il s'exerce sur le béton après durcissement il est susceptible d'y provoquer des contraintes élevées. Son ordre de grandeur est de 0.2 à 0.5 mm par mètre. [5]

On remarque que le retrait dépend essentiellement : de la qualité et du type de ciment, les bétons riches en ciment ont un retrait important, de la nature des granulats, les sables fins et les roches poreuses provoquent un retrait du béton important, de la qualité de l'eau de gâchage, plus le rapport E / C augmente, plus le retrait augmente, et du degré d'humidité.

### **3.4 Le fluage :**

Le fluage est l'augmentation dans le temps des déformations relatives sous des contraintes permanentes. En l'absence des charges, les dimensions du béton varient en raison du retrait ce qui entraîne que le phénomène de fluage ne soit plus un problème à étudier de façon isolé.

Les expériences ont montré que les déformations se poursuivent pendant des dizaines d'années avec une vitesse faible pour aboutir à une lente stabilisation. Le fluage s'accroît pour un mortier que pour un béton, il se produit dans la pâte de ciment qui enrobe le granulat. [5]

### **1-1 Caractéristiques mécaniques du béton :**

Le béton est caractérisé par une bonne résistance à la compression  $f_{cj}$  et une résistance médiocre en traction  $f_{tj}$ . Un module d'Young qui prend deux valeurs selon que l'on considère des déformations instantanées  $E_{ij}$  ou des déformations à long terme, déformations différées,  $E_{vj}$ .

#### **1. Essais de traction :**

##### **Procédure de l'essai :**

La résistance à la traction s'obtient soit par essai de traction par fendage (dit essai Brésilien), soit par un essai de flexion sur éprouvette prismatique 10x10x40cm ou 7x7x28cm. La résistance à la traction ( $f_{tj}$ ) est conventionnellement définie par le BAEL [A.2.1,12]

$$\text{pour } f_{cj} < 60 \text{ MPa} \quad f_{tj} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj}$$

$$\text{pour } f_{cj} \geq 60 \text{ MPa} \quad f_{tj} = 0,275 \cdot f_{cj}^{2/3}$$

a. Traction par fendage (Essai BRESILIEN) NFP 18-408 :

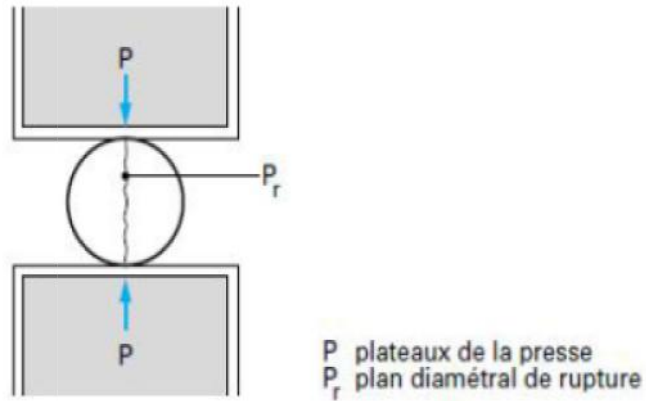


Figure1.3 : Essai de fendage sur éprouvette cylindrique

b. Traction par flexion NFP 18-407 :

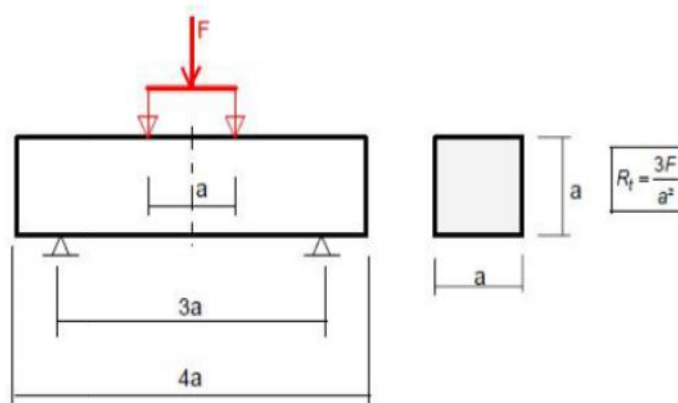


Figure1.4: Essai de traction sur une éprouvette

La Figure suivante illustre l'évolution de la résistance caractéristique à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$ .

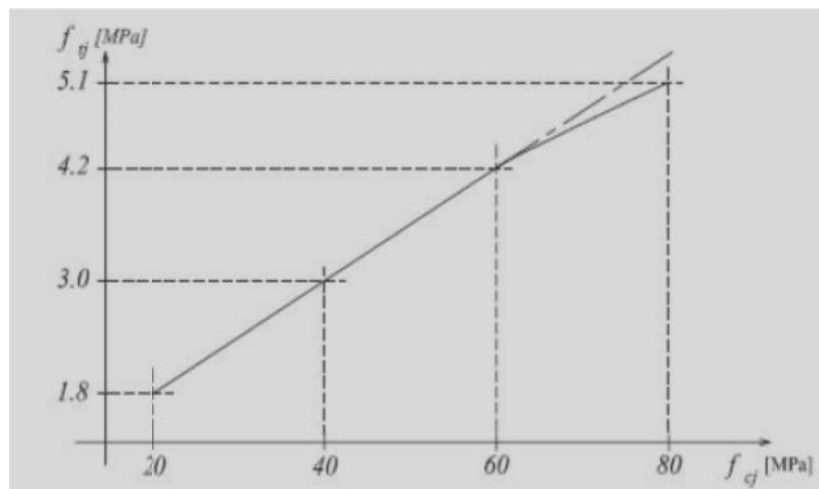


Figure1.5 : Evolution de la résistance à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$

## 2. Essais de compression :

### Procédure de l'essai :

Expérimentalement la résistance à la compression se mesure le plus souvent sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 16cm et de hauteur 32cm, ou de diamètre 11cm et d'une hauteur de 22cm. Elle est notée  $f_{c28}$  et choisie en fonction des conditions de fabrication du béton, de la classe du ciment utilisé et de son dosage au  $m^3$ .

Lorsque l'âge du béton est inférieur à 28 jours, on prend en compte pour les calculs de résistance  $f_{cj}$ , valeur caractéristique à  $j$  jours, obtenue suivant les cas par les formules suivantes :

$$f_{cj} = f_{c28} \frac{j}{4,76+0,83j} \quad \text{pour } f_{c28} \leq 40 \text{ Mpa}$$

$$f_{cj} = f_{c28} \frac{j}{1,40+0,95j} \quad \text{pour } f_{c28} > 40 \text{ Mpa}$$

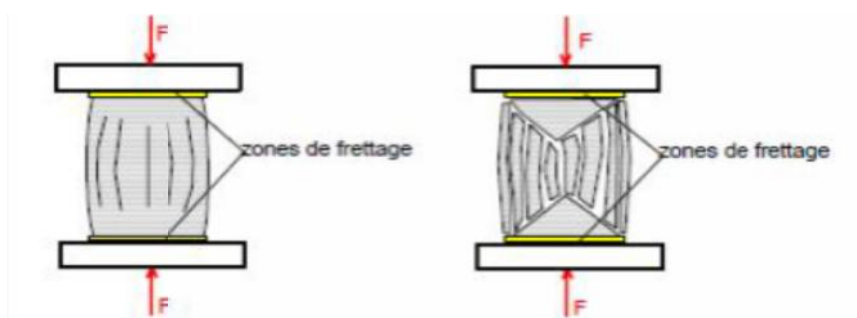


Figure 1.6 : Cylindre soumis à la compression

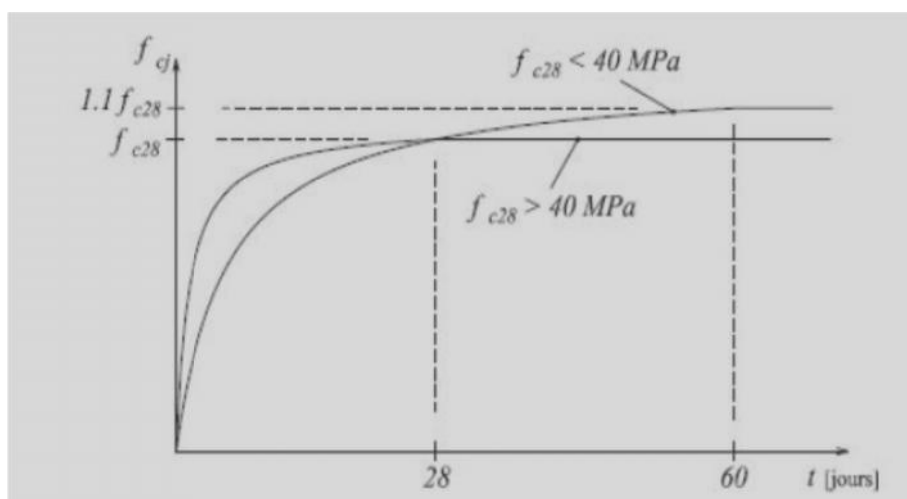


Figure 1.7 : Evolution de la résistance a la compression dans le temps

Le diagramme contraintes déformations du béton aux ELU règlementaires est le diagramme de calcul simplifié dit "PARABOLE- RECTANGLE". Le diagramme ci-dessous schématise ces dispositions.

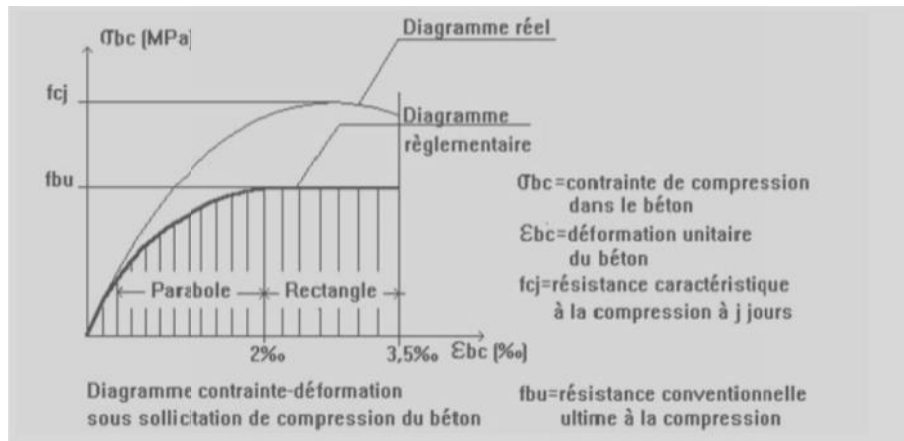


Figure 1.8: Diagramme des contraintes-déformation en compression.

### 3. Essais de poinçonnement :

Le phénomène du poinçonnement des dalles en béton armé est l'un des problèmes les plus étudiés des structures en béton mais en même temps il n'est pas encore complètement compris. Une meilleure compréhension du phénomène est indispensable pour concevoir des solutions constructives plus performantes et pour permettre l'évaluation de la capacité portante de structures existantes.

#### I-4.3.1 Rupture par poinçonnement :

Le poids d'une dalle en appui sur un poteau induit des contraintes de cisaillement dans la dalle. Ces contraintes, lorsqu'elles sont suffisantes et si des renforts de ferrailage n'ont pas été prévus, peuvent entraîner le poinçonnement du poteau à travers la dalle. Similairement, ce phénomène de poinçonnement peut avoir lieu dans les semelles de fondations sur lesquelles reposent les poteaux.

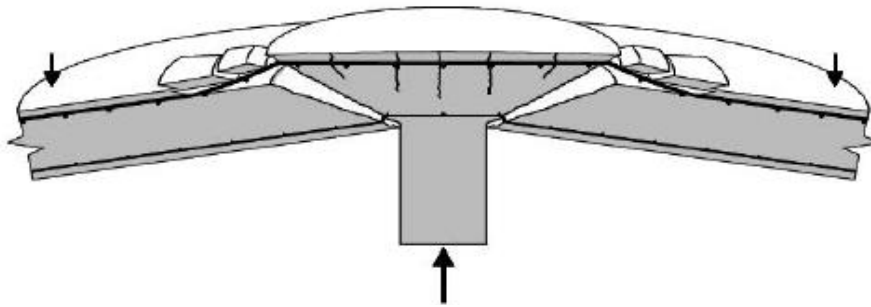


Figure 1.9 : Rupture par poinçonnement d'une dalle en béton armé.

Bien que les contraintes dues au poinçonnement puissent être réduites en augmentant l'épaisseur des dalles, en prévoyant des poutres de renfort ou en munissant les têtes de poteaux de chapiteaux, il est souvent plus avantageux de construire des dalles minces. Une hauteur sous plafond constante permettra de réduire la hauteur du bâtiment et ainsi de gagner du temps et d'économiser les matériaux. [6]

#### I-4.3.2 comportement mécanique des dalles :

Les dalles constituent un des éléments de structure le plus classique. Du point de vue mécanique, une dalle est un élément bidimensionnel de structure plan, d'épaisseur faible par rapport à ses dimensions dans le plan. Elle résiste aux efforts auxquels elle est soumise

par des mécanismes de flexion dans une ou deux directions suivant sa géométrie et ses conditions aux limites.

Il est possible de classifier les dalles en fonction de leur système porteur. On peut distinguer :

- Les dalles portant dans une direction (dalles sur deux appuis). Ces dalles ont un comportement unidirectionnel et se comportent essentiellement comme des poutres, et se dimensionnent selon les mêmes principes,
- Les dalles portant dans deux directions (dalles sur quatre appuis). Ces dalles ont un comportement bidirectionnel et transmettent la charge à laquelle elles sont soumises dans les deux directions du plan en direction des appuis,
- Les dalles portant sur des appuis ponctuels, ces appuis sont généralement constitués de colonnes en béton ou en acier.

En fonction de leur élancement (rapport hauteur/portée), les dalles peuvent être classifiées en trois catégories : dalles minces, dalles d'épaisseur modérée et dalles épaisses.

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer. [7]

#### *Phase élastique linéaire :*

Dans cette première phase de chargement, la dalle se comporte pratiquement comme une structure douée d'un comportement élastique linéaire.

#### *Phase de fissuration :*

La fissuration du béton apparaît dans les zones les plus sollicitées pour s'étendre sous charge croissante aux autres zones pour lesquelles le moment de fissuration est dépassé. La rigidité des sections fissurées est réduite, ce qui conduit à une modification de la répartition des moments de flexion, les moments dans les zones non fissurées augmentent plus, pour un même accroissement de charge, que dans la phase élastique. Tant que l'écoulement de l'armature ne se produit pas, l'ouverture des fissures est limitée.

#### *Phase d'écoulement :*

L'armature s'écoule progressivement dans les zones où les moments sont les plus élevés. Les sections où l'acier d'armature atteint sa limite d'écoulement continuent de se déformer, mais le moment de flexion n'y augmente plus, ce qui cause une redistribution des moments, plus importante que dans la phase précédente. Les zones d'écoulement de l'acier s'étendent progressivement et se concentrent le long de bandes étroites où se produisent les fissures les plus ouvertes. Ces fissures se développent suivant un schéma qui dépend notamment de la géométrie de la dalle, des conditions d'appui, de la répartition des armatures et du mode de chargement.

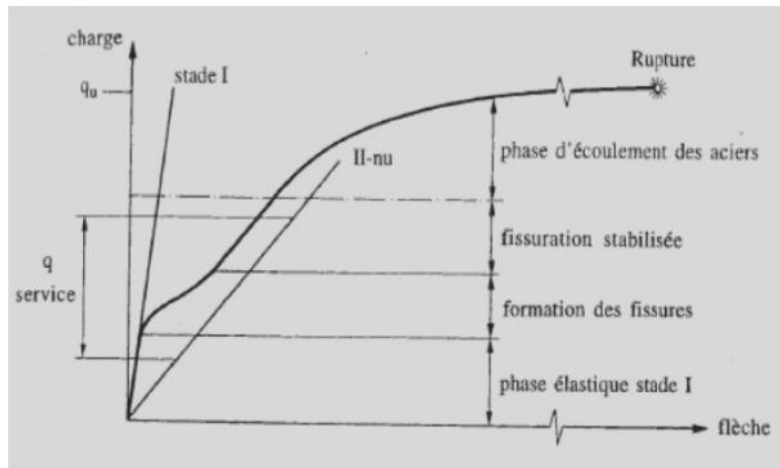


Figure 1.10 : Phases successives du comportement d'une dalle en flexion

### Phase de rupture :

Lorsque les lignes d'articulation ont atteint un stade de développement tel que la dalle est transformée en un assemblage de sous-structures, une très légère augmentation des charges conduit à un état d'équilibre instable provoquant l'effondrement de la dalle.

Dans le domaine élastique, l'équation différentielle de Lagrange donne la relation entre la déformée  $w(x,y)$  et la charge appliquée  $q(x,y)$ . Selon les conditions d'appuis, on trouve différentes solutions, le plus souvent sous forme de séries de Fourier (solution de Navier pour les dalles articulées sur leurs quatre côtés, solution de Maurice Lévy pour les dalles articulées sur deux côtés opposés).

Dans le domaine post-élastique, la méthode cinématique est applicable aux dalles en partant d'un mécanisme admis a priori, c'est la théorie des lignes de rupture développées initialement par JOHANSEN.

## I-2 Matériaux composites :

### Introduction :

Les matériaux composites sont utilisés dans de nombreux domaines tels que l'industrie automobile, l'aérospatial ou encore la médecine. Une des applications techniques les plus réussies dans le Génie Civil est le renforcement du béton par l'acier. En effet, le béton armé est un matériau composite constitué d'une matrice cimentaire additionnée à un renfort par barres d'acier. Les nouveaux composites utilisables dans l'industrie de la construction doivent allier performances mécaniques et liberté architecturale tout en diminuant l'impact environnemental lors du processus de transformation.

Les composites fibres/ciment (CCF) constituent une alternative intéressante dans le domaine de la construction au regard de son efficacité énergétique et économique et de ses performances mécaniques.

### I.2.1 Définition d'un matériau composite :

Dans un sens large, le mot composite signifie constituée de deux ou plusieurs parties différentes.

Un matériau composite est constituée de l'assemblage de deux matériaux de nature différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. [8]

**Matériaux composites= association de deux constituants=matrice + renfort.**

### **I.2.1.1 Définitions de base :**

- **Homogène** : même propriétés en tout point du matériau.
- **Hétérogène** : en 2 points différents, propriétés différentes.
- **Isotrope** : même propriétés dans toutes les directions.
- **Isotrope transverse** : il existe un axe de symétrie. Symétrie par rapport à une droite.
- **Orthotrope** : propriétés symétriques par rapport à deux plans orthogonaux.
- **Anisotrope** : les propriétés sont différentes selon les différentes directions. [8]

### **I.2.2 Les matrices :**

La matrice : lie les fibres renforts, répartie les efforts (résistance à la compression ou à la flexion), assure la protection chimique. Par définition, c'est un polymère ou une résine organique. [8]

#### **I.2.2.1 Les différentes familles de matrice :**

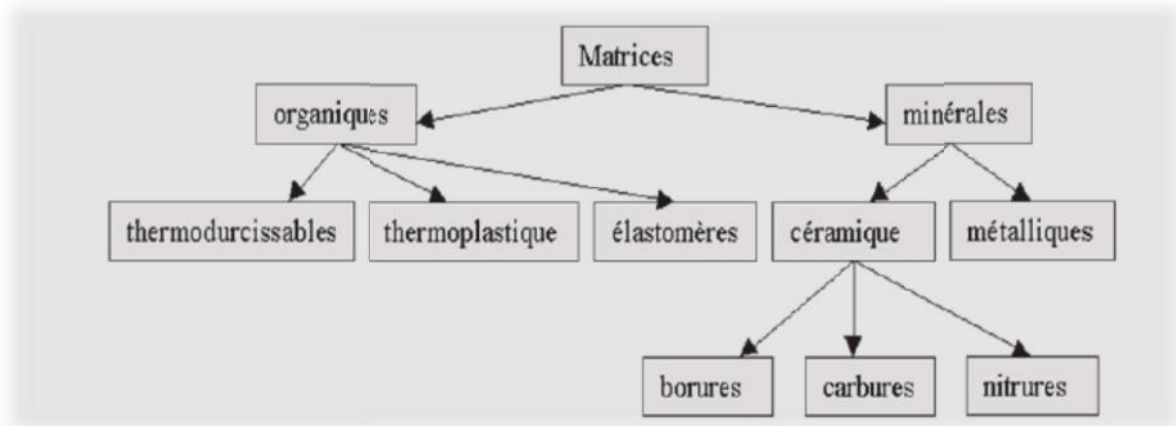


Figure I.11 : Différentes familles de matrice [8]

### **I.2.3 Les renforts :**

Le renfort : armature, squelette, il assure la tenue mécanique (résistance à la traction et rigidité). Souvent de nature filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques).

### I.2.3.1 Principaux matériaux de renfort :

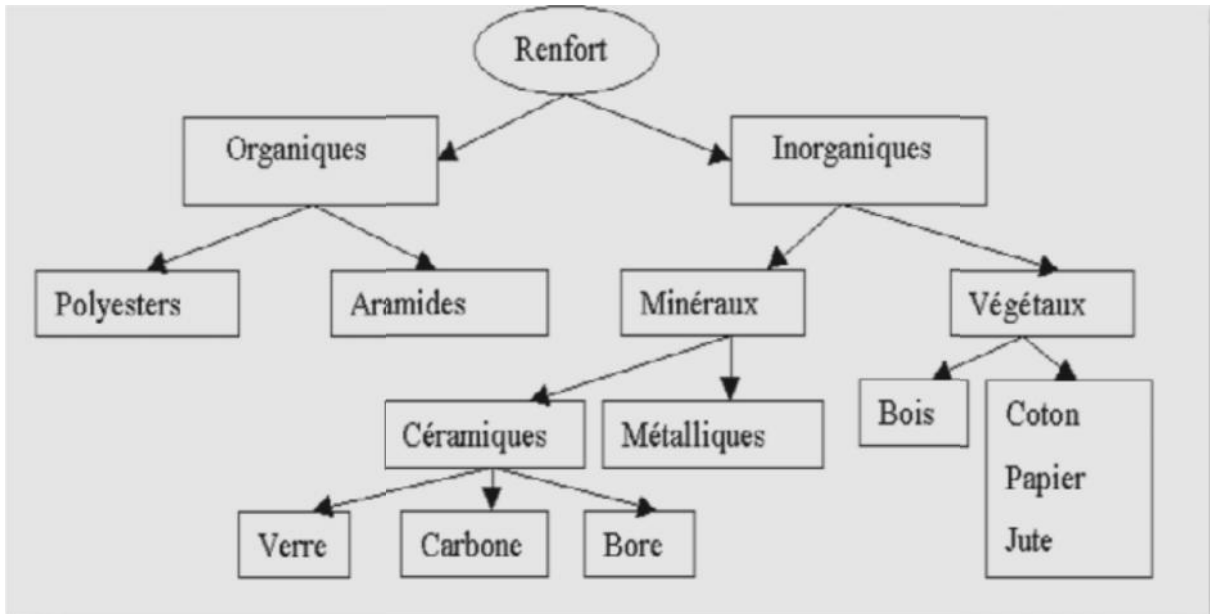


Figure 2.1 : Principaux matériaux de renfort [8]

En plus de ces deux constituants de base, il faut rajouter : une interface qui assure la compatibilité renfort-matrice, qui transmet les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif. Bonne adhérence en couche fine. Des produits chimiques entrent aussi dans la composition du composite, l'interphase etc. ... qui peuvent jouer sur le comportement mécanique, mais n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite.

#### Nota :

On conçoit un composite en fonction du type d'application, de chargement ...ce qui est différent des matériaux classiques où on adapte la conception d'une structure en fonction du matériau constitutif. Pour les composites, on construit sa structure à la demande :

- La nature, la texture et la forme du renfort ;
- Le taux de renforcement ;
- La nature de la résine et des charges ou additifs ;
- La qualité de l'interface renfort-matrice ;
- La géométrie de la pièce à réaliser ;
- le procédé de mise en œuvre utilisé.

On cherchera toujours à orienter au mieux les renforts en fonction des efforts auxquels la structure est soumise.

### I.2.4 Classification des matériaux composites :

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants. [8]

**Tableau 2.1 : Classification des matériaux composites**

Types de composites	constituants	Domaines d'application
<i>Composites à matrice organique :</i> Papier, carton  Panneaux de fibres Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/fibres de bois Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc.  Bâtiment Domaines multiples
<i>composites à matrice minérale :</i> Béton Carbone  Céramique	Ciment/sable/granulats Fibre de carbone  Fibre céramique	Génie civil Aviation, espace, sports, bio-médecine, etc Pièces thermomécaniques
<i>Composite à matrice métallique</i>	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace

**I.2.5Avantage des matériaux composites :**

- Grande résistance a la fatigue
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion (sauf alu-carbone)
- Insensibles aux produits chimiques "mécaniques " comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants, pétrole.

**I.2.5Mise en œuvre et procédés :**

Trois opérations sont indispensables :

Imprégnation du renfort par le système résineux.

Mise en forme à la géométrie de la pièce.

Durcissement du système.

- Soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissables,
- Soit par simple refroidissement pour les matières thermoplastiques.

Il existe différentes techniques mais la plus utilisée est par moulage.

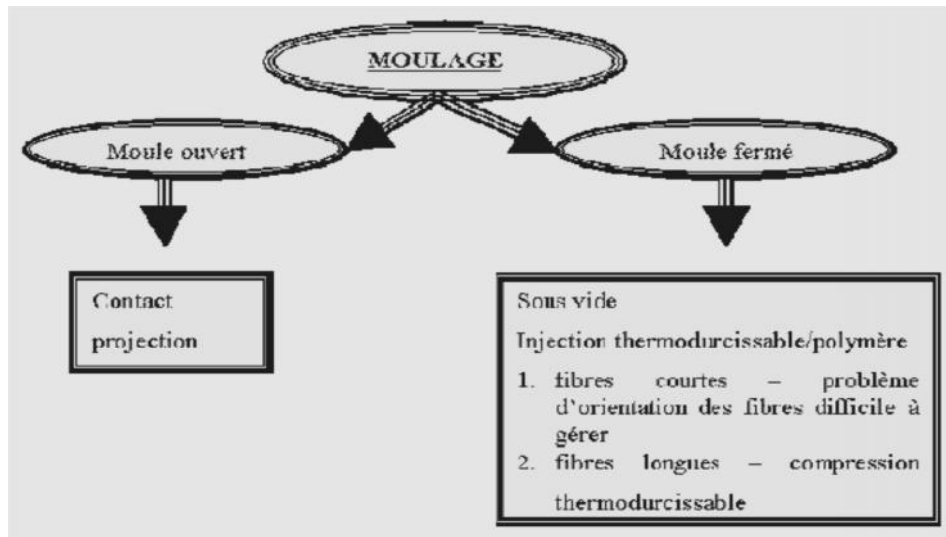


Figure2.2 : Type de moulage [9]

Les procédés les plus importants sont :

- **Moulage au contact** : technologie de réalisation de pièces prototypes ou de simulation. Le principe consiste à imprégner manuellement les renforts disposés dans un moule. C'est peu onéreux et des pièces de formes quelconques peuvent être réalisées mais cadence très faible.
- **Moulage par projection simultanée** : technologie similaire mais les fibres coupées sont projetées au pistolet.
- **Pultrusion** : Utilisation pour les composites hautes performances industrielles. Le principe est : tirage, mise en forme et polymérisation de fibres continues imprégnées. Les avantages sont la production en continue, possibilité de réaliser des sections très complexes, et d'avoir un taux de renfort élevé.
- **Enroulement filamentaire (ou bobinage)** : technologie pour les HP. Le principe consiste en un enroulement sous tension sur un mandrin tournant autour de son axe de fibres continues préalablement imprégnées d'un liant.

Il existe d'autres procédés : drapage en autoclave, centrifugation, stratification en continu, thermoformage sous vide, estampage... [9]

## **I-3 Généralités sur le béton de fibres :**

### **3.1 Historique :**

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène.

Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les bétons fibrés font l'objet de méthodes spécifiques de dimensionnement pour des applications structurales (dalles, dallages industriels, voussoirs, pieux, etc.). Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées.

Les fibres présentent des caractéristiques, tant géo- métriques que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques. [1]

### **3.2 - Les différents types de fibres :**

On distingue trois grandes familles de fibres.

- ***Les fibres métalliques :***

- acier ;
- inox ;
- fonte (amorphe).

- ***Les fibres organiques :***

- polypropylène ;
- polyamide ;
- acrylique.
- mélange polypropylène/polyéthylène ;
- kevlar ;
- aramide ;
- carbone.

- ***Les fibres minérales :***

- verre ;
- wollastonite ;
- basalte ;
- mica.

Chaque fibre présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : dimensions (diamètre, longueur, etc.), formes (lisses, crantées, ondulées, bi ondulées, à crochet, munies de cônes aux extrémités, etc.), résistances mécaniques (résistance à la traction). Les dosages courants en fibres sont de l'ordre de 0,5 à 2 % en volume soit de 5 à 150 kg par m<sup>3</sup> de béton. [1]

## 1.2 - Les caractéristiques et les propriétés des fibres :

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques et des propriétés spécifiques.

**Tableau 3.1 : Caractéristiques et propriétés spécifiques de chaque famille de fibres [1]**

	Masse volumique (en g/cm <sup>3</sup> )	Diamètre moyen (en µm)	Résistance à la traction (en N/mm <sup>2</sup> )	Module d'élasticité (en GPa)	Allongement à la rupture (en %)
Fibres métalliques	7,85	50 - 1 000	1 000 - 2 500	150 - 200	3 - 4
Fibres de verre	2,6	9 - 15	2 000 - 3 000	80	2 - 3,5
Fibres polypropylène	0,9	> 4	500 - 750	5 - 10	10 - 20

*Longueur des fibres : 5 à 60 mm  
Coefficient de dilatation : 1 à 90 µm/m °C*

Pour faciliter leur utilisation, les fibres doivent :

- Etre faciles à incorporer dans le béton et ne pas perturber le malaxage (leur dispersion dans le béton doit être rapide) ;
- Se répartir de manière homogène lors du malaxage au sein du béton (pas d'agglomération de fibres) et lors du bétonnage.

### Nota :

L'influence des fibres sur la maniabilité du béton dépend de leur dimension et de leur dosage.

Pour améliorer les performances mécaniques des bétons (ductilité, résistance en flexion, résistance aux chocs, etc.), elles doivent :

- Etre déformables sans être fragiles ;
- Etre relativement longues et fines et présenter une grande surface spécifique ;
- Offrir une bonne capacité de déformation ;
- Posséder un module d'élasticité plus élevé que celui de la matrice cimentaire ;
- Présenter une bonne adhérence avec la pâte de ciment. [1]

### Nota :

La structure du béton fibré et ses caractéristiques mécaniques dépendent aussi de sa mise en œuvre (effets liés à l'écoulement ; orientation préférentielle des fibres parallèlement au sens de l'écoulement du béton et à la géométrie de la structure). Il est donc nécessaire pour la mise au point de la formulation, de connaître la technique de mise en œuvre.

## 1.3 - Le rôle des fibres :

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

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

- La cohésion du béton frais ;
- La déformabilité avant rupture ;
- La résistance à la traction par flexion ;

- La ductilité et la résistance post fissuration ;
- La résistance aux chocs ;
- La résistance à la fatigue ;
- La résistance à l'usure ;
- La résistance mécanique du béton aux jeunes âges ;
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;
- la tenue au feu ;
- la résistance à l'abrasion. [1]

### **3.5 - Les atouts des fibres :**

Grâce à leurs propriétés mécaniques, les fibres, permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton, de réaliser des pièces minces de grandes dimensions et d'offrir au concepteur une plus grande liberté architecturale. Elles confèrent aux bétons de nombreux atout :

- La maîtrise de la fissuration ;
- Une facilité et rapidité de mise en œuvre ;
- Un renforcement multidirectionnel et homogène ;
- Un remplacement partiel ou total des armatures passives. [1]

#### **Nota :**

**Certaines fibres confèrent au béton un comportement ductile.**

L'incorporation de fibres dans le béton doit faire l'objet d'une étude de formulation et d'une vérification de la compatibilité avec les autres constituants. Les bétons fibrés nécessitent souvent un dosage en superplastifiant plus élevé pour maintenir l'ouvrabilité du béton.

Des essais peuvent être nécessaires pour déterminer, la nature, la taille et le dosage des fibres en fonction des caractéristiques et des performances requises. [1]

### **3.6 - Les domaines d'application des bétons fibrés :**

Les bétons fibrés peuvent être utilisés pour une grande variété d'applications en bâtiment et en génie civil :

- Béton coulé en place (dalles, planchers, fondations, voiles, pieux, etc.) ;
- Béton préfabriqué (poutres, voussoirs, tuyaux d'assainissement, etc.) ;
- Béton projeté (voie mouillée/voie sèche, construction et réparation de tunnels, confortement de parois, etc.) ;
- Mortiers (prêts à l'emploi) de réparation et de scellement.

Le choix du type de fibres est fonction du domaine d'application et des performances souhaitées.

### **3.7 - Les fibres polypropylène :**

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton.

Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post-fissuration (contrairement aux fibres métalliques).

Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C).

La fabrication du béton avec des fibres de polypropylène ne soulève pas de difficulté particulière. La répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précautions spécifiques lors du malaxage. L'optimisation de l'adjuvant permet de réaliser des bétons dont l'ouvrabilité est conservée. Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au « premier retrait », ainsi que leur résistance aux chocs.

De ces propriétés découlent les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène :

- Dallages et aménagements urbains ;
- Produits préfabriqués (parements) ;
- Mortiers projetés ;
- Enduits ;
- Sculptures.

Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (meilleur comportement du béton frais) et les éléments préfabriqués (meilleure résistance mécanique au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetés ou des mortiers de réparation. [1]

### **3.7.1 Atouts des fibres polypropylène pour la tenue au feu des bétons :**

Le béton est un matériau poreux qui renferme de l'eau dont une partie correspond à de l'eau excédentaire nécessaire à l'ouvrabilité à l'état frais. En cas d'élévation importante de la température, l'eau, restée prisonnière, se transforme en vapeur. Dans le cas des bétons particulièrement compacts, l'élévation de la température est susceptible de créer des contraintes internes pouvant entraîner un écaillage du béton en surface.

L'incorporation dans le béton de fibres polypropylène (1 à 3 kg/m<sup>3</sup>) permet d'améliorer la tenue au feu des bétons dont la compacité est particulièrement élevée. Les observations montrent que les fibres fondent lorsque les températures atteignent 140 à 170 °C. Elles créent ainsi en fondant un réseau tridimensionnel constitué d'une multitude de petits capillaires connectés (réseaux de drains) susceptibles de permettre à la vapeur d'eau de s'échapper évitant ainsi les surpressions. Ce phénomène constitue un moyen efficace pour limiter l'écaillage de surface d'un béton soumis à une élévation de température excessive. [1]

### **3.8 - Les fibres métalliques :**

Les fibres métalliques, notamment d'acier, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour développer leurs emplois dans le béton. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton.

Les recherches visant à améliorer l'adhérence au béton ont permis de développer une grande variété de fibres capables, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- Fibres ondulées - crantées - torsadées-droites ;

- Fils, rubans ;
- Fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc.

Les bétons de fibres métalliques ont une bonne résistance à la traction et à la flexion. Ils sont utilisés dans les dallages et les sols industriels (sur sol ou sur pieux), pour la fabrication de voussoirs de tunnels, de coques ou la confection de pieux ou pour réaliser des bétons projetés (pour la construction ou la réparation de revêtements de tunnels et de galeries et le confortement de parois de soutènement en béton), pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués ainsi que pour la confection de mortier de réparation ou de scellement. [1]

### **3.8.1 Atouts des fibres métalliques dans les bétons structurels:**

Les fibres métalliques sont utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure. En effet, elles contribuent à la réduction de la largeur des fissures dans la matrice béton (limitation de l'ouverture des fissures et répartition de la microfissuration).

Elles se substituent partiellement aux armatures traditionnelles. Dans certains cas, pour des bétons subissant de faibles sollicitations, elles peuvent même remplacer complètement les armatures. Elles sont, en particulier, utilisées pour réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, améliorer la résistance en traction et au choc. Elles confèrent au béton une certaine ductilité et une plus grande résistance à la rupture. [1]

### **3.8.2 Spécificité du comportement des bétons fibrés avec des fibres métalliques :**

Si l'on applique un effet de traction au béton fibré, il se comporte avant rupture selon trois phases :

- Les fibres et le béton agissent ensemble dans une phase élastique ;
- Des microfissures se produisent, l'effort de traction est repris par les fibres qui limitent la propagation de la fissuration ;
- Les fissures se développent, les fibres perdent leur adhérence avec la matrice.

Toute fibre d'acier qui traverse une fissure crée en quelque sorte un « pont » entre les deux bords de la fissure. Ce pont va permettre le transfert d'une partie de la contrainte ayant entraîné l'ouverture de la fissure. C'est ainsi qu'une fibre s'oppose à l'élargissement de la fissure, jouant véritablement le rôle d'une couture et augmente la résistance du béton après fissuration.

Les fibres métalliques permettent donc de "coudre" les microfissures et évitent leur propagation, ce qui empêche ou retarde l'apparition de macrofissures. Elles apportent des caractéristiques mécaniques post-fissurations au béton.

Du fait de leurs propriétés, les fibres métalliques trouvent un vaste domaine d'applications, si l'on veut réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs et tirer parti de l'amélioration de la résistance en traction pour optimiser le dimensionnement des pièces. [1]

## **3.9 - Les fibres de verre :**

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment (protection ou imprégnation nécessaire).

**Nota :**

Certaines fibres de verre présentent des propriétés « alcali-résistantes ».

**3.9.1 Atouts des fibres de verre comme armatures de parois minces:**

En préfabrication, les domaines d'application sont très vastes. Les fibres de verre permettent la réalisation d'éléments de faible épaisseur (éléments architectoniques, éléments de bardage, panneaux de façade, etc.), de mobilier urbain et de produits d'assainissement.

- Panneaux de façade minces de 10 à 15 mm d'épaisseur ou panneaux sandwich à isolant incorporé.
- Éléments de bardage et éléments décoratifs.
- Éléments divers : coffret, coffrages, habillages.
- Produits d'assainissements: tuyaux, caniveaux.

Elles présentent une excellente résistance au feu (jusqu'à 800 °C). Cette caractéristique et son coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confèrent aux bétons de fibres de verre une bonne résistance à des températures élevées.

Sur chantier, les mortiers de fibres de verre s'utilisent pour les enduits extérieurs monocouches, ainsi que pour certains procédés d'isolation thermique. [1]

**Nota :**

Les bétons de fibres de verre sont couramment dénommés CCV (Composite Ciment Verre) ou, en anglais, GRC (Glass Reinforced Cement).

**3.10 - Les techniques de mise en œuvre :**

Les bétons fibrés peuvent être mis en œuvre sous différentes formes.

- Béton coulé en place :
  - A la pompe ;
  - A l'aide d'une benne munie d'un manchon.
- Béton préfabriqué.
- Béton projeté. [9]

**Nota :**

L'incorporation des fibres dans le béton doit être particulièrement soignée, elle peut se faire :

- Au malaxage (en centrale à béton) ;
- Au moment du coulage (dans la toupie sur le chantier) ;
- Lors de la projection (béton projeté).

L'emploi de superplastifiant est recommandé pour compenser la diminution d'ouvrabilité provoquée par l'incorporation de fibres.

**Tableau 3.2 : Domaines d'application privilégiés par type de fibres**

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

**I-4 Domaine d'utilisation du béton renforcé de fibre :**

Depuis le concept de béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux de recherche ont montré que l'ajout de fibres (aciers, polypropylène, verres...) dans une matrice de béton permet au composite (béton- fibres) d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion. Mais ce type de béton n'est pas considéré comme un substituant aux bétons traditionnels, mais comme un matériau nouveau type, qui devient intéressant dans l'optique de la conception d'une structure performante. Dans le tableau ci-dessous, on indique quelques sites où le béton de fibres a été utilisé. [10]

**Tableau 3.3 : Quelques sites où le béton de fibres a été utilisé**

APPLICATIONS	INTERET APPORTE PAR L'ADJONCTION DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque minces faiblement sollicitées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges.</li> <li>- Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.</li> </ul>
Dallage, chaussées en béton, dallages manufacturés, et tous éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diminution de 40% de l'ouverture de fissures,</li> <li>- augmentation de la rigidité après fissuration,</li> <li>- augmentation de la résistance au cisaillement,</li> <li>- augmentation de la résistance à l'usure.</li> </ul>
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations...etc.).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amélioration de la charge ultime,</li> <li>- pas de rupture catastrophique.</li> </ul>

Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles exp: piste d'aéroport.	- l'énergie absorbée est plus importante, - la durée de choc est augmentée, - la loi de comportement du matériau est fortement modifiée.
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts.	- amélioration de la résistance aux chocs, - amélioration de la déformation.
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	- remplacement avec succès du revêtement réfractaire, - diminution le coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	- évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé, - diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus.
Fabrication des pieux, revêtement ignifuges isolants (construction navale). Panneaux de revêtement de façade....etc.	- augmentation de la résistance aux chocs, - augmentation de la résistance à l'usure, - augmentation de la durabilité de revêtement.

## **I-5 comportement mécanique du béton de fibre :**

### **I.5.1 Effet des fibres dans la matrice :**

#### **I.5.1.1 Rôles des fibres dans le béton :**

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



Figure 5.1 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres

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

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme il est indiqué dans la **figure 5.1**.
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir **figure 5.2**. [10]

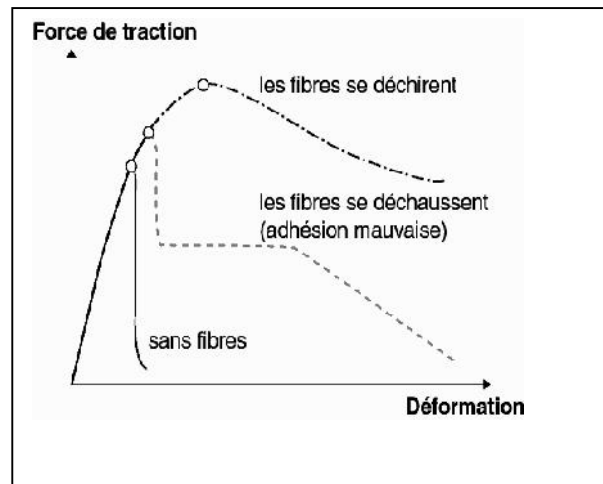


Figure 5.2 : Comportement de charge – déformation de béton avec fibres et béton sans fibres.

### I.5.1.2 La taille et la rugosité des granulats :

La dimension des granulats est très importante pour avoir un bon béton résistant et maniable car avec une présence d'une certaine quantité de gros grains, le béton peut avoir une mauvaise ouvrabilité.

Les B.R.F sont composés, en plus des gros granulats, d'une quantité de fibres, qui en entrant en contact avec ceux-ci tend à figer leur mouvement, fait qui se répercute principalement sur la maniabilité.

Les multiples travaux de recherche montrent que la mise en œuvre des B.F.M. est souvent difficile et a toujours posé de problème. Ainsi pour faciliter cette mise en œuvre, la composition du béton ne doit en aucun cas contenir des éléments dont la taille est supérieure au quart de la longueur de la fibre (une dimension maximale d'environ 8 à 15mm), c'est la raison qui fait que les bétons de sable se révèlent compatibles à l'inclusion des fibres . [10]

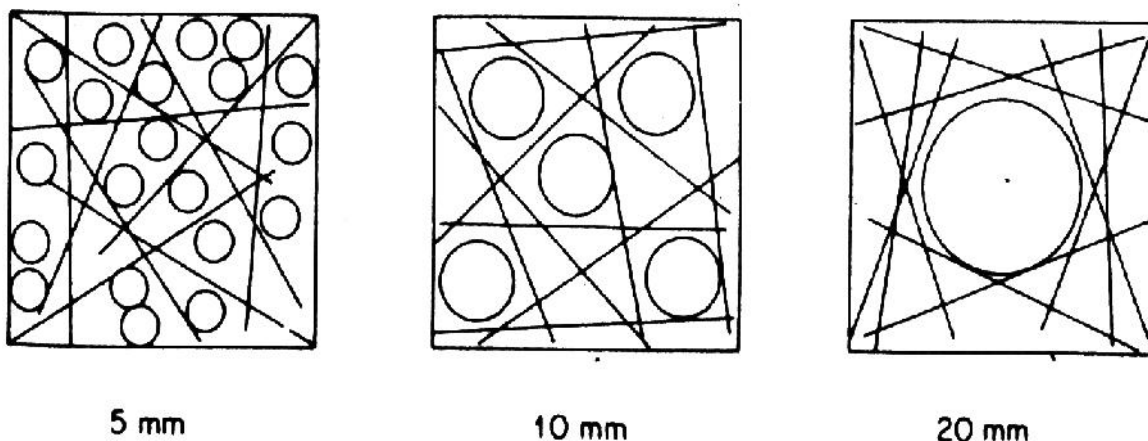


Figure 5.3 Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.

### **I.5.1.3 Influence de l'adhérence fibres matrice :**

L'adhérence fibres – matrice est un facteur très important vis-à-vis de l'efficacité des fibres dans la matrice. D'après *BARTOS* (1981), l'adhérence entre fibres et matrice est assurée par trois liaisons [11]:

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

Des essais d'arrachement effectués par *EUROSTEEL* sur les fibres ondulées (1982) montrent que la résistance d'adhérence dépend de la teneur en ciment dans la matrice. Il existe une teneur en ciment voisine de 400 à 500 Kg/m<sup>2</sup> [12].

### **I.5.1.4 Influence de la géométrie de la fibre :**

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

1. En se plastifiant, l'ondulation diffuse, dans le béton, une énergie capable de multiplier par 2.5 celle de la rupture en traction de la fibre.
2. Contrairement aux autres types de fibres, celles ondulées sont capables de s'agripper au béton. En effet, l'existence d'ondulations le long de ces fibres créent des réactions de butées et s'opposent par le fait au déchaussement de ces fibres. [10]

### **I.5.1.5 Influence du type de fibres :**

Le comportement global des éprouvettes de deux types de béton (béton armé de fibres Dramix et béton armé de fibres locales, en copeaux, de longueur de 30 et 50 mm, avec des pourcentages de 0,5 et 1%) est sensiblement le même pour les deux types d'éprouvettes. L'ajout des fibres au béton apporte une certaine ductilité. Pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux.

Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dramix (pour  $l_f=50\text{mm}$ ). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure [13].

### **I.5.1.6 Influence de la longueur des fibres :**

Avec le béton de fibres en copeaux, pour des pourcentages 0,3; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5%, et des longueurs de 30 et 50 mm, on peut conclure que pour les faibles pourcentages, la longueur n'affecte que très peu le comportement des éprouvettes en traction. Par contre, plus le pourcentage augmente, plus l'effet de la longueur des fibres est important. A pourcentage égal, les fibres les plus longues sont plus efficaces pour couvrir les fissures. L'effort nécessaire à l'arrachement des fibres ainsi que l'énergie de

rupture sont plus importants. [10]

### I.5.1.7 Influence du pourcentage en fibres :

La figure 5.4 montre l'influence du pourcentage en fibres sur le comportement des éprouvettes soumises à la traction par flexion. En comparant les différentes courbes au béton témoin (sans fibres), il apparaît que les fibres apportent une ductilité aux matériaux, la rupture devient ductile au lieu de fragile. L'effort maximal à la première fissuration ainsi que l'énergie de rupture augmentent en fonction du pourcentage en fibres [14].

$l_f = 30 \text{ mm}$

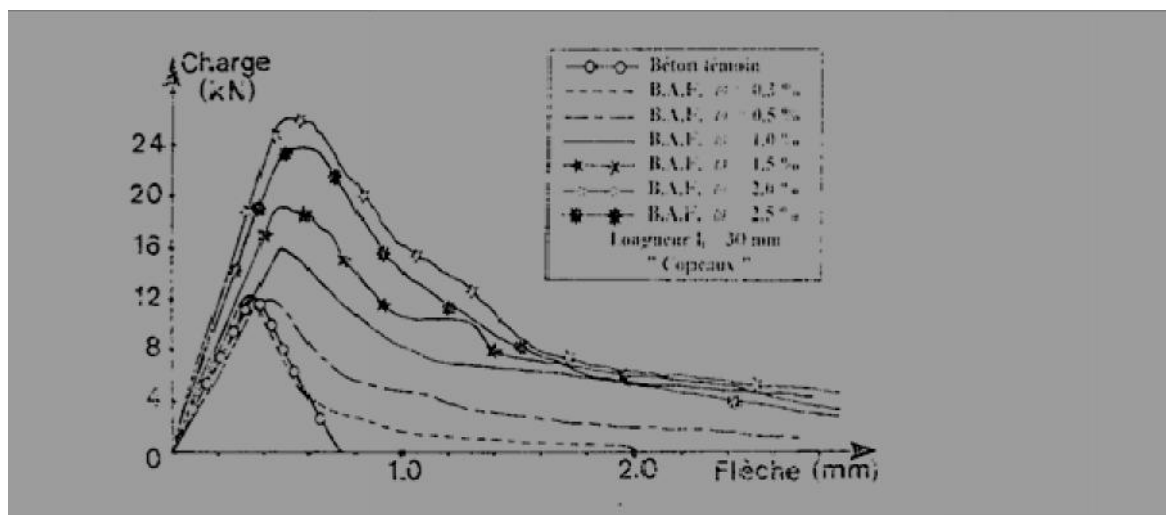


Figure 5.4: Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion [14]

## 6-1 Travaux antérieurs :

### 1.1 Évaluation comparative de panneaux de dalles en béton projeté renforcés de fibres variées: [18]

Des études expérimentales ont été effectuées sur la maille d'acier (SM), fibres d'acier (SF) et des fibres polypropylènes de haute performance (HPPF) pour la réalisation de panneaux de dalles avec du béton projeté, dans le but d'évaluer les caractéristiques de performance telles que la ténacité, la ductilité, et l'absorption de l'énergie.

Conformément à la spécification Européenne pour le béton projeté, 18 dalles renforcées par différents pourcentages de fibres ont été réalisées, et ayant la même conception de mélange, ont durci pendant 28 jours.

#### Etude expérimentale :

Dans la conception du renforcement du béton projeté par un treillis soudé SMRS (Steel Mesh Reinforced Shotcrete), de diamètre: 8 mm; intervalles: 150 mm; et poids: 23,5 kg/m<sup>3</sup> a été utilisé comme renforcement.

Dans les panneaux de dalles en béton projeté renforcé de fibre en acier SFRS (Steel Fibre Reinforced Shotcrete), le contenu de SF était de 35 et 50 kg/m<sup>3</sup>, avec une longueur de fibre de 30 mm et un diamètre de 0,6 mm. Les pourcentages de volume occupé par ces fibres étaient de 0,45% et 0,64% de 1m<sup>3</sup> de béton projeté, respectivement. La fibre a des extrémités aplaties avec une tige ronde et a un rapport d'aspect de 50. Pour la fibre de polypropylène à haute performance (HPPRS), la teneur en fibres était de 7 et 10 kg/m<sup>3</sup>, avec une longueur de fibre de 30 mm et un diamètre de filament nominal de 0,9 mm.

Les pourcentages en volume occupés par ces fibres étaient de 0,78% et 1,1% de 1 m<sup>3</sup> de béton projeté, respectivement. Dans les panneaux hybrides, les matières de renforcement de SF et HPPF étaient de 30 et 5 kg/m<sup>3</sup>, ce qui correspond à 0,38% et 0,55% pour cent en volume, respectivement.

**🚩 Résultats expérimentaux:**

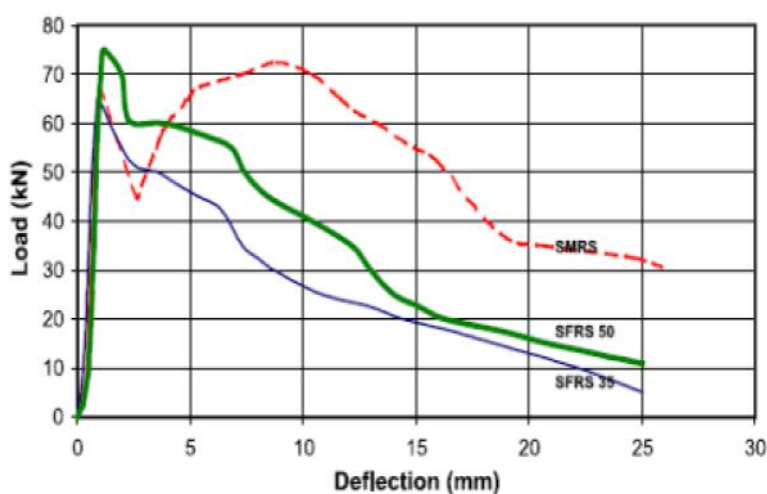


Figure 6.1 : La comparaison des courbes force déformation pour SMRS, SRFS 35 et SRFS 50 à l'âge de 28 jours.

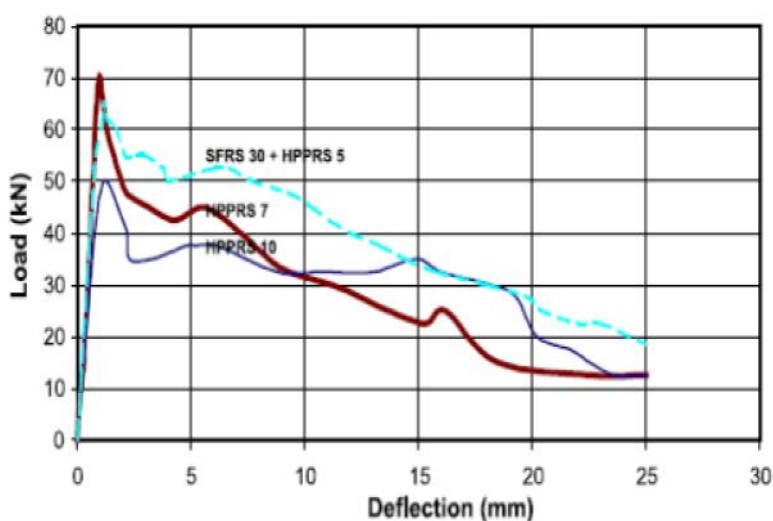


Figure 6.2 : La comparaison des courbes force déplacement pour HPPRS 7, 10 et HPPRS mélange de SRFS 30 + HPPRS 5 panneaux à l'âge de 28 jours.

## Conclusion :

Les résultats montrent que tous les renforts, y compris HPPF qui a un module très faible, améliore la ductilité en flexion, la ténacité et la capacité de la matrice fragile a résisté plus. On a vu qu'il y avait un effet d'énergie positive entre l'acier et la fibre polypropylène dans l'utilisation des fibres hybrides à partir d'un point de vue de rendement. Selon les résultats, on peut conclure qu'un hybride polypropylène-acier peut être utilisé en variante à la place de SM et de fibres en acier seul comme un renfort dans des applications de béton projeté pour obtenir un meilleur rendement dans les propriétés mécaniques du composite.

## 1.2 Caractérisation et qualification du renforcement en TFC de dalles béton armé endommagées : [17]

**Ce papier présente une étude expérimentale sur le comportement des dalles en béton armé (BA) renforcées par des bandes de tissus de fibres de carbone (TFC). Ces dalles BA sont préalablement endommagées par des sollicitations de membrane et de flexion dans les deux directions. Cette étude constituera une base de données qui a pour but de valider le procédé de renforcement des dalles BA visant une application pour des coques des aéroréfrigérants. Cette étude donne des idées sur des gains au terme de rigidité et de capacité portante apportés aux structures par le renforcement en TFC.**

## Etude expérimentale:

Le dispositif d'essais est un system auto-équilibré dont le principe de fonctionnement est similaire à celui du system de précontraint extérieur.

Les spécimens sont des dalles en béton armé de dimensions de 2mx2m et de 0.1m d'épaisseur. Cette dalle représente une facette élémentaire d'un élément coque de l'aéroréfrigérant.

Le ferrailage du spécimen est composé de deux nappes de barres d'acier HA espacées de 10cm dans les deux directions. Dans la zone périphérique du spécimen, le double taux de ferrailage est prévu pour éviter des concentrations excessives des efforts qui peuvent engendrer la ruine prématurée lors de la transmission des forces des vérins. Le diamètre des barres est de 8mm pour la dalle N°1 et de 6mm pour la dalle N°2.

Les caractéristiques du béton sont obtenues des essais de compression et de fendage des éprouvettes cylindriques de 11x22cm. Sa résistance en compression est de l'ordre de 43MPa et sa résistance en traction est de l'ordre de 5,5MPa. Les caractéristiques du TFC sont données dans le tableau suivant:

**Tableau 1. Caractéristiques du TFC**

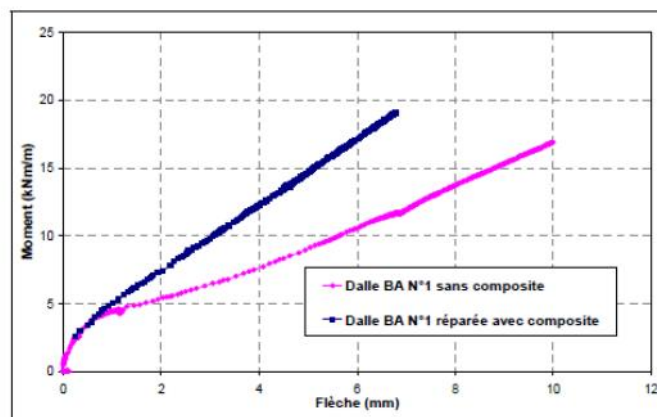
Composite	E [GPa]	$\bar{\sigma}_c$ [MPa]	$\bar{\sigma}_t$ [MPa]	e(mm)
TFC	105	1400	580	0.43

### **Procédés d'expérimentation et renforcements en TFC :**

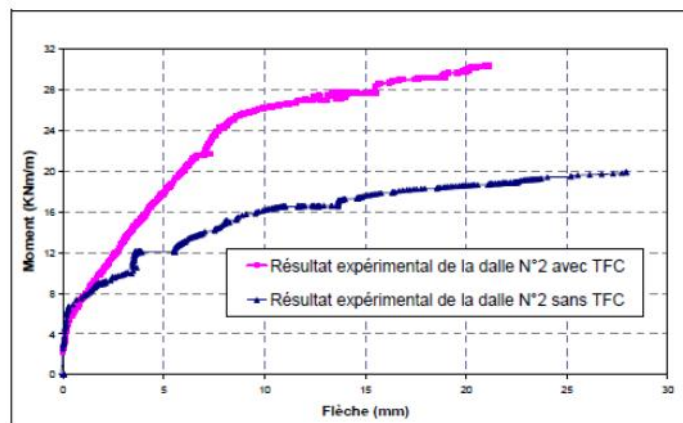
La dalle en béton armé sain est d'abord chargée par une compression verticale. Cette compression est maintenue constante pendant que l'application du moment de flexion horizontal jusqu'au voisinage de sa capacité portante. Puis la dalle est déchargée pour le collage des lamelles de TFC sur sa face tendue due à l'effet de moment de flexion. Ensuite, le test de la dalle réparée est réalisé pendant lequel la compression verticale est toujours constante mais le moment de flexion est appliqué jusqu'à la ruine de la dalle.

La dalle N°1 est renforcée seulement par deux bandes TFC de largeur de 300mm et de longueur de 1400mm. Le renforcement de la dalle N°2 comprend deux parties, le renforcement local est pour renforcer les bords verticaux et le renforcement principal contenant deux bandes TFC de 300mm de largeur.

### **📌 Résultats expérimentaux :**



**Figure6.3 : Résultats expérimentaux de la dalle N°1**



**Figure6.4 : Résultats expérimentaux de la dalle N°2**

### Conclusion :

Le renforcement en composite peut apporter des gains significatifs aux structures endommagées lors de la réparation. Le composite peut compenser la perte de rigidité de la dalle due à la fissuration du béton en traction et augmenter la capacité portante de la dalle jusqu'à 50% de la capacité portante de la dalle BA en mieux exploitant la bonne résistance en compression du béton.

Le composite peut également limiter l'ouverture excessive des fissure et donc la déformation des armatures. Il rend la structure plus fragile et alors, le mode de ruine de la structure est éventuellement changé si le taux de composite est trop élevé.

La configuration de renforcement de la dalle N°2 souhaite un bon procédé pour la réparation et le renforcement des structures de type dalles ou coques.

### 1.3 contribution a l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton arme renforcées par matériaux composites : [7]

L'objectif de cette étude expérimentale est d'observer le comportement d'une dalle renforcée par matériaux composites sous chargement centré, et d'évaluer l'effet des différents paramètres du renforcement et notamment l'augmentation de la charge ultime et le mode de rupture.

### Etude expérimentale :

Huit dalles ont été fabriquées dont six renforcées, cette première série d'essais sert de comparaison entre le comportement des dalles renforcées et non renforcées, ainsi que l'évaluation de l'effet du taux de renforcement sur le comportement des dalles renforcées.

**Tableau : caractéristiques des dalles testées**

Dalle	Dimension (mm)	Béton (MPa)	Armature (%)	composite	
				Surface (%)	Epaisseur (mm)
D11	600x600x50	25	0.12	/	/
D12	600x600x50	25	0.33	/	/
D13	600x600x50	25	0.12	65	1
D14	600x600x50	25	0.12	65	1.6
D15	600x600x50	25	0.12	65	2
D16	600x600x50	25	0.12	38	0.8
D17	600x600x50	25	0.33	38	1.2
D18	600x600x50	25	0.33	38	1

**Résultats expérimentaux:**

**Essais sur dalles non renforcées (Dalles D11-D12) :**

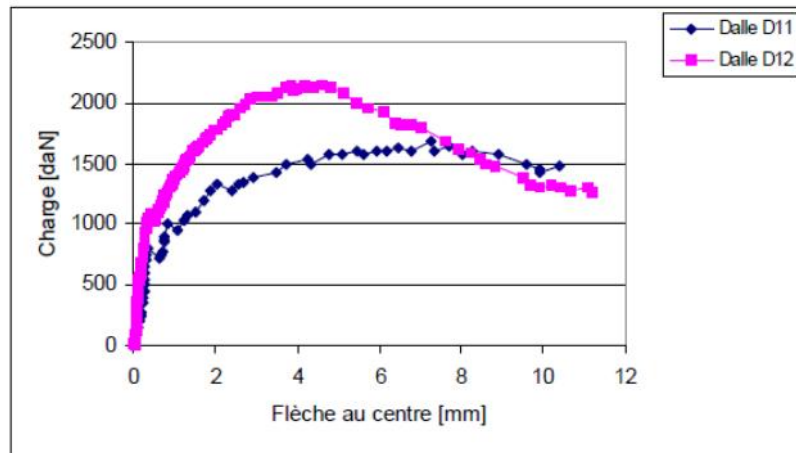


Figure6.5 : Courbes charge-flèche pour les dalles non renforcées

**Essais sur dalles renforcées :**

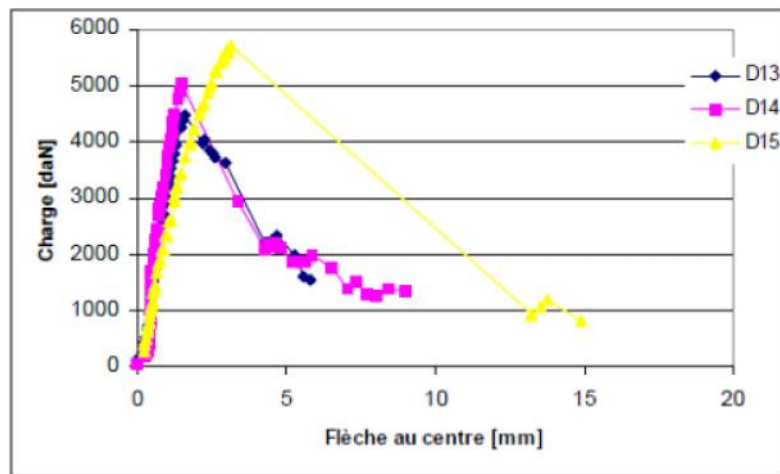


Figure6.6 : Comparaison des courbes charge-flèche en fonction du taux du renfort

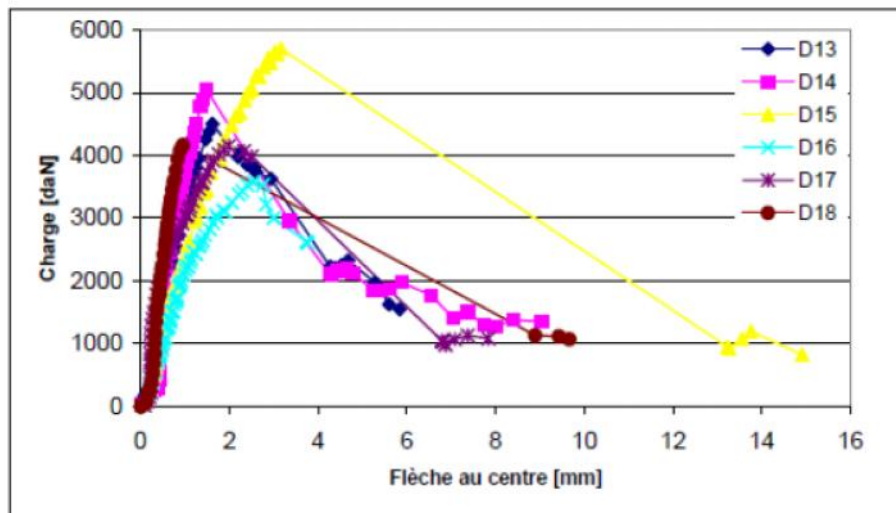


Figure 6.7: Courbe charge flèche de la même dalle avec et sans renforcement

### **✚ Conclusion :**

La dalle D12 présente un comportement plus rigide, l'apparition des fissures diagonales n'a pas trop affecté le comportement en rigidité de la dalle qui continuait à supporter des charges sans subir de grands déplacements. A l'approche de la rupture, des fissures importantes sont observées sur la face tendue et la dalle s'effondre suivant un mode de rupture ductile correspondant à la plastification des aciers.

La comparaison des résultats de cette série d'essais montre que pour le renforcement des dalles en flexion, il est suffisant de coller le composite sur la partie centrale de la dalle où se concentrent les efforts de traction. On augmentant l'épaisseur du renfort la charge ultime augmente, cependant le comportement de la dalle devient moins ductile, ce qui conduit à une rupture par poinçonnement après épuisement de la capacité du béton en cisaillement.

### **1.4 Résistance au cisaillement par poinçonnement des dalles armé renforcées de fibres en acier : [16]**

**Cet article traite le comportement et la capacité des dalles minces renforcées de fibres en acier SFRC (Steel Fibre Reinforced Concrete) sous la force de cisaillement par poinçonnement. Un total de douze dalles minces, de petite taille et de différentes dimensions, qui sont composées de neuf (SFRC) et de trois dalles en béton armé SRC (Steel Reinforced Concrete), puis elles ont été examinées.**

### **✚ Etude expérimentale :**

Un total de 12 dalles avec différentes dimensions ont été examinées. Toutes les dalles ont la même profondeur de 125 [mm]. Les dalles ont été divisées en trois groupes. Chaque groupe se compose de trois dalles armées renforcées à différents pourcentages en fibres d'acier et d'une dalle armé témoin. Les dalles de chaque groupe ont été confectionné en même temps et de la même série de béton. Puis elle on été traitées dans des conditions semblables et examinées après 28 jours.

### Résultats expérimentaux:

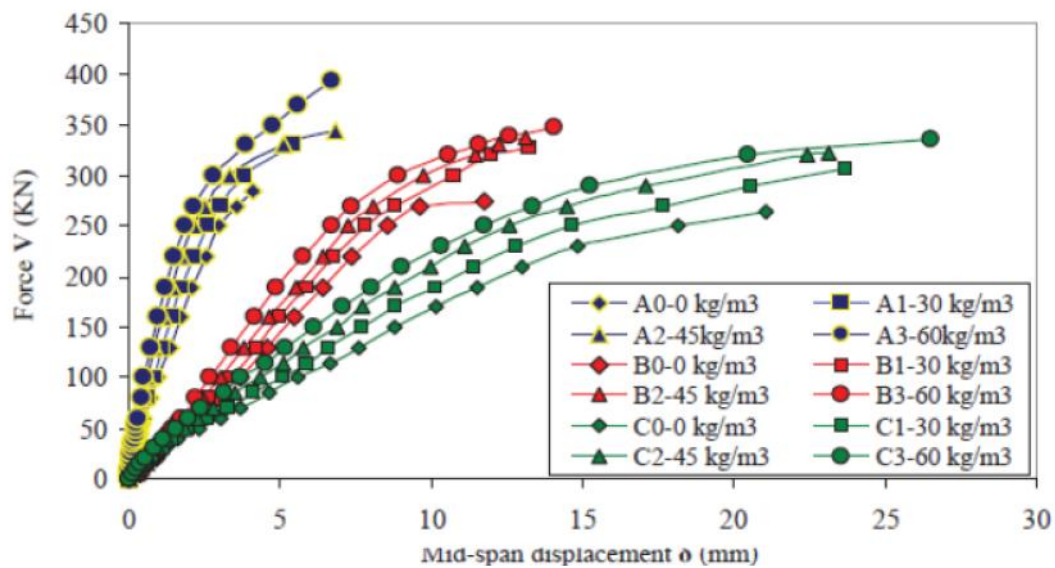


Figure 6.8 : Courbe force déplacement des dalles

### Conclusion :

Basé sur les résultats obtenus à partir cette l'étude, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

1. Les fibres en acier améliorent considérablement la résistance au cisaillement par poinçonnement des dalles. En utilisant les fibres en acier avec un volume de fibre de 30 à 60 kg/m<sup>3</sup>, on augmente la résistance au cisaillement par poinçonnement des galettes de 9 à 39,8% et cette augmentation est directement proportionnelle au volume de fibre.
2. Les résultats de l'évaluation ont indiqué que les formules ont donné des résultats imprécis avec un grand éparpillement (COV est approximativement 24%) en comparaison des résultats expérimentaux.
3. On devrait proposer une nouvelle formule pour une évaluation plus précise de résistance au cisaillement par poinçonnement des galettes de SFRC, dans lesquelles, l'effet de la longueur, la forme, et le rapport de la longueur et du diamètre des fibres devraient être considérés.

#### 1.5 Etude expérimentale sur le renforcement des dalles d'un filet métallique : [19]

Des essais expérimentaux menés sur 27 dalles carrés de 490x490 [mm], simplement appuyées sur quatre côtés et soumis à une charge centrée sont présentés. Les dalles ont une portée libre de 400x400 [mm] et munie d'un cadre de barres en acier de 8 mm de diamètre pour tenir le renfort en place et à agir comme un soutien en ligne. Les variables de test sont la fraction volumique en treillis métallique: quatre élargi et deux types carrés;

épaisseur de la dalle: 40, 45, 50 et 60 mm; et le modèle de charge centré : carrée et rectangulaire.

✚ Etude expérimentale :

Le programme expérimental est constitué de 27. Deux de ces dalles étaient les spécimens de contrôle. Pour des raisons de comparaison avec l'acier traditionnel, deux échantillons de dalles à renforcés avec des barres d'acier de 6 mm disposées dans deux directions orthogonales et espacées de 100 mm ont été coulées à part. Pour évaluer l'effet de la combinaison acier traditionnel avec un renforcement de file d'acier au poinçonnement, un treillis métallique de diamètre de 1,5 mm a été ajouté à l'une de ces dalles. Tous les échantillons de dalles ont été testés à l'aide d'une machine d'essai universelle sous chargement monotone jusqu'à la rupture.

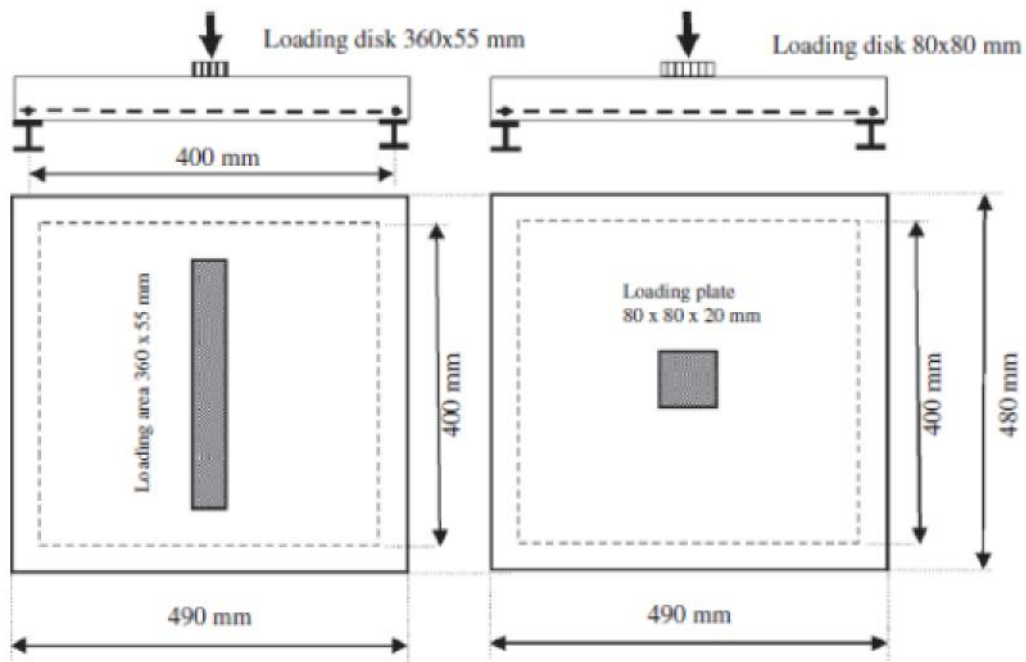


Figure 6.9 : Mise en place pour l'essai de panneau de dalle

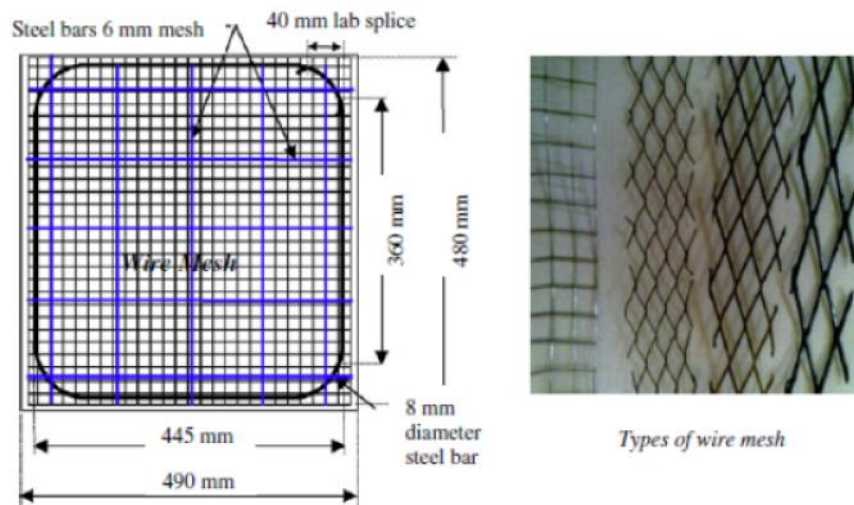


Figure 6.10: Type d'armature et du renforcement des dalles.

### Conclusion :

Les résultats des essais ont montré que, lorsque la fraction volumique du renforcement de filet métallique augmente, la résistance à la perforation des plaques a été également augmentée. L'ajout d'un treillis métallique à armature ordinaire augmente de manière significative la résistance à la perforation. De plus, comme la taille de la zone de charge augmente, les augmentations de rigidité et de ductilité en raison de la différence dans le taux de renfort dans des directions orthogonales ont été clairement remarquées.

### CONCLUSION DU CHAPITRE :

L'introduction des fibres dans une matrice béton amène une certaine ductilité au comportement mécanique du matériau, cet ajout retarde la microfissuration et permet de retenir les "morceaux" en cas de rupture accidentelle. Il a été mis en évidence une légère augmentation de la résistance à la compression et aussi à la flexion. Cependant, il y a certaines précautions à prendre quant à la mise en œuvre de ce matériau, puisque les fibres modifient la maniabilité. Les pourcentages maximums de fibres incorporées restent limités compte tenu des problèmes liés à la mise en œuvre (formation d'oursins et pelotes donc création de porosité au sein de la matrice).

# INVESTIGATION EXPÉRIMENTALE

## **INTRODUCTION :**

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes d'investigation expérimentale conduite sur les spécimens renforcés par des fibres de natures différentes. Une attention particulière est accordée à la conjugaison des performances mécaniques des fibres, dans le but de quantifier l'apport en termes de résistance et de déformabilité conférés au béton. A cet effet, un programme expérimental sera présenté.

## **I Etude de la composition du béton :**

### **I.1 Introduction :**

Toute formulation passe par la compréhension de l'influence de chaque constituant sur les propriétés du béton. Le rôle d'un constituant dépend essentiellement de son état (fluide, solide) et de sa nature minéralogique et chimique. Ainsi, nous allons décrire dans ce qui suit les différents constituants entrant dans la composition d'un béton courant « vibré » (granulats, ciment, et eau).

#### **1.1 Ciment :**

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme de poudre minérale s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte qui fait prise et qui durcit progressivement à l'air. C'est le constituant fondamental du béton puisque c'est lui qui joue le rôle de cohésion des différents constituants.

Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc),
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..)
- Les liants à maçonner,
- Les chaux hydrauliques naturelles.

Le ciment utilisé pour la préparation du béton est de type CPJ-CEMII/B dans la classe 42,5.

#### **1.2 Sable :**

Les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les interstices entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être:

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
  - Sable de laitier;
  - Sable d'oxydes de fer, de chromite;
  - Sable de briques concassées.

Le sable que nous avons utilisé pour notre béton provient de l'Oued- Aissi de Tizi-Ouzou de diamètre maximum de 0,3 mm.

Le sable a été lavé puis séché à l'étuve à température 105°C pendant 24 heures.

### **1.3 Les granulats :**

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans le diamètre varie de plus petit au plus gros.

Ils peuvent être:

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ...), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites.

Ils sont anguleux et durs.

Les granulats peuvent se classer selon les diamètres:

- Petits: de 3 à 8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- Moyens: de 8 à 15 mm;
- Gros: de 15 à 25 mm;
- Très gros: de 25 à 40 mm.

Nous avons utilisé deux fractions de granulats, la 3/8 et la 8/15, les gros granulats utilisés ont été lavés puis séchés à l'air libre.

### **1.4 L'eau de gâchage :**

L'eau utilisée dans cette étude est l'eau de robinet, qui est une eau potable.

## **1.2 Analyse granulométrique :**

La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable, graviers) en produisant un béton dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en œuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleures caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait, bonne durabilité...).

Pour définir ces proportions, on doit passer tout d'abord à l'essai de l'analyse granulométrique puis choisir une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse, ...etc. L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions.

### **2.1 Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs catégories de grains décroissantes.

### **2.2 Equipement utilisés :**

Pour réaliser cette opération, nous avons utilisé les équipements suivants :

- des tamis de différents diamètres,
- un échantillon de 3000 g pour le sable, 1500g pour la 3/8, et 3000g pour la 8/15.

- une balance de 5 kg, pesant au gramme près,
- une étuve thermostatée,
- un vibro- tamis électrique.

### **2.3 Description de l'essai :**

Les granulats utilisés pour préparer le béton sont de forme roulée et leur diamètre est de 0/3, 3/8 et 8/15. Une fois ces matériaux lavés, ils seront ensuite séchés pendant 48 heures à l'étuve à une température maximale de 105 °C. On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du front de la colonne vers le bas.

En partie inférieure, on dispose d'un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle –ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$ , la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$ , la masse des deux refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulé  $R_n$ , aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé.

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

**Tableau II.1: Analyse granulométrique du sable avec M = 2000g**

<b>Dimension des tamis [mm]</b>	<b>Refus [g]</b>	<b>Refus [%]</b>	<b>Refus cumulés [%]</b>	<b>Tamisât [%]</b>
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
3.15	0	0	0	100
2.5	6.5	0.325	0.325	99.675
1.25	828.5	41.445	41.77	58.23
1	235	11.756	53.526	46.475
0.315	864	43.221	96.747	3.253
0.16	59.5	2.976	99.72	0.277
0.08	3.5	0.175	99.9	0.102
Fond	2	0.100	100	0

*des refus = 1999 [g]*

**Tableau II.2: Analyse granulométrique pour le gravier (3/8) avec M = 3000g**

Dimension des tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	8	8	0.27	99.73
6.3	577	585	19.52	80.48
5	1100	1685	56.22	43.78
4	721	2406	80.28	19.72
3.15	481	2887	96.33	3.67
2.5	72.5	2959.5	98.75	1.25
1.25	28.5	2988	99.7	0.3
1	1	2989	99.73	0.27
Fond	8	2997	100	0

*des refus = 2997[g]*

**Table au II.3: Analyse granulométrique pour le gravier (8/15) avec M = 5000g**

Dimension des tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
20	6	0.120	0.120	99.88
16	29	0.581	0.701	99.30
12.5	1133	22.71	23.41	76.59
8	3096.5	62.07	85.49	14.51
6.3	449.5	9.01	94.5	5.50
5	159	3.19	97.68	2.32
4	31	0.62	98.31	1.69
2.5	6	0.120	98.43	1.57
1.25	14.5	0.29	98.72	1.28
1	1	0.020	98.74	1.26
Fond	63	1.26	100	0.00

*des refus = 4988.5[g]*

Les valeurs données sur les différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de granulats, voir figure II.1

## 2.4 Module de finesse :

Table au II.4: Analyse granulométrique pour le sable avec M = 1500g

Dimension des tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
5	0	0	0	100
2.5	27.5	1.83	1.83	98.17
1.25	587	39.13	40.96	59.04
0.63	480.5	32.03	72.99	27.01
0.315	350	23.33	96.32	3.68
0.160	51	3.4	99.72	0.28
0.08	3	0.2	99.92	0.08
Fond	1	0.066	99.986	0

$$des\ refus = 1497[g]$$

Le module de finesse est défini comme étant la somme des refus cumulés (Exprimés en pourcentage) sur les dimensions des tamis suivant : 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.160, 0.08. Ce paramètre est en particulier utilisé dans les calculs de composition des bétons.

Le module de finesse sert à évaluer la grosseur du sable

- Un module de finesse élevé correspond à un sable grossier  $2,8 < M_f < 3,2$

- Un module de finesse moyen correspond à un sable préférentielle  $2,2 < M_f < 2,8$

- Un module de finesse faible correspond à un sable fin  $1,8 < M_f < 2,2$

La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fins du sable.

$M_f = 3.11 > 2.8$ , on déduit que notre sable est un sable grossier.

Pour obtenir un sable préférentielle, on l'a tamisé avec un tamis de diamètre 2.5 et les résultats sont les suivant :

Table au II.5 : Analyse granulométrique pour le sable tamisé avec M = 1500g

Dimension des tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
5	0	0	0	100
2.5	8	0.53	0.53	99.47
1.25	610	40.75	41.28	58.72
0.63	5	0.33	41.61	58.39
0.315	826.5	55.21	96.82	3.17
0.160	45	3.01	99.83	0.17
0.08	1	0.067	99.9	0.1
Fond	1.5	0.100	100	0

$$des\ refus = 1497[g]$$

$M_f = 2.8$ , c'est un sable préférentiel.

Equivalent de sable (NF P18-598):

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton compact.

L'excès de fines est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donc une faible valeur de la résistance

L'essai a donné les résultats présentés dans le tableau II.6 :

**Tableau II.6 : Valeur d'équivalence du sable**

<i>Granulats</i>	<i>Sable (0/2.5)</i>	<i>Spécification</i>
<i>Equivalence de sable visuel (ESV) (~%)</i>	<i>90</i>	<i>&gt;65 pour un sable concassé</i>
<i>Equivalence de sable sous le poids d'un piston (ES) (%)</i>	<i>95</i>	

*Donc on a un sable propre.*

**2.5 Masse volumique absolue :**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent.

Nos résultats sont indiqués dans le tableau suivant.

**Tableau II.7: Masse volumique absolue des granulats.**

<b>Granulats</b>	<b>Sable (0/2.5)</b>	<b>Gravier (3/8)</b>	<b>Gravier (8/15)</b>
<b>Masse volumique absolue [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>2.56</b>

**1.3 Composition de béton par la méthode de DREUX – GORISSE :**

Pour la formulation du béton ordinaire vibré (témoin) nous avons choisi la méthode de **DREUX-GORISSE** qui permet de déterminer les quantités optimales de matériaux pour 1m<sup>3</sup> de béton.

Cette méthode a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier et ayant donné satisfaction. Elle est très simple d'utilisation, elle ne demande que la connaissance des courbes granulométriques des granulats [3].

Les étapes de la méthode sont récapitulées dans les paragraphes suivants.

### 3.1 Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir. Ainsi, la résistance visée doit être obtenue comme suit :

$$\sigma_{28j} = \sigma_{28j} + 0.15 \sigma_{28j} \quad \text{Soit} \quad \sigma_{28j} = 1.15 \sigma_{28j}$$

La résistance désirée pour un béton témoin a 28 jours est telle que :

$$\sigma_{28j} = 26 \text{MPa}$$

La résistance visée pour un béton témoin a 28j est telle que :

$$\sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j}$$

$$\sigma'_{28j} = 1.15 \times 26$$

$$\sigma'_{28j} = 30 \text{MPa}$$

### 3.2 Dosage en ciment et en eau :

La formule ci-dessous permet le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours.

$$\text{Soit} \quad R'_{28} = G \sigma'_c \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

$$\text{Avec} \quad \frac{C}{E} = \frac{R'_{28}}{G \sigma'_c} + 0.5$$

$R'_{28}$ : Résistance visée à 28 jours.

$\sigma'_c$ : Classe varie de ciment en MPa.

G : Coefficient granulaire.

C : Dosage en ciment (Kg de ciment /m<sup>3</sup> de béton).

E : Dosage en eau (Kg d'eau /m<sup>3</sup> de béton ou litre d'eau par m<sup>3</sup> de béton).

#### Choix approprié du coefficient granulaire G :

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau ci-après établi par George DREUX [3].

**Tableau II.8: Valeurs approximatives du coefficient granulaire.**

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤ 16mm	25 ≤ D ≤ 40mm	D ≥ 63mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 15 mm, ce qui donne un coefficient granulaire  $G=0,45$  avec une bonne qualité.

**✚ Choix de la classe vraie de ciment :**

Parmi la liste des ciments disponibles sur le marché des matériaux de construction, nous avons retenu le ciment CEM CPJII42.5. Sa classe vraie est estimée à 47,5 MPa.

Le rapport C/E est donné par :

$$\frac{C}{E} = \frac{30}{0.45 \times 42.5} + 0.5 = 2.07$$

**✚ Dosage en ciment par m<sup>3</sup> de béton :**

Connaissant le rapport C/E et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce à l'abaque, C/E en fonction de A, le dosage en ciment correspond :

$\left. \begin{array}{l} C/E = 2.07 \\ A = 8 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow$  l'abaque donne la valeur du dosage en ciment :  
**C = 400 Kg** (voir la figure si dessous)

$\left. \begin{array}{l} C/E = 2.7 \\ C = 400 \text{ Kg} \end{array} \right\} \Rightarrow$  on déduit la valeur de E qui est :  
**E = 194 Kg**

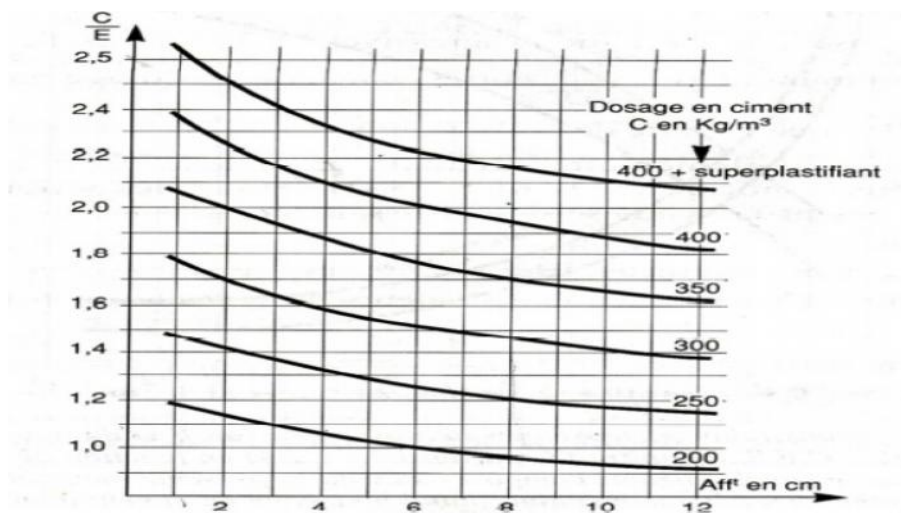


Figure II.1 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

**✚ Tracé de la courbe granulaire de référence :**

Cette courbe correspondant au mélange des granulats (sable+graviers mais ciment non compris).

Sur le même graphe d'analyse granulométrique (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis), déjà obtenu (voir figure I.2), on trace une courbe granulaire de référence OAB avec :

Le point **O** est repéré par ses coordonnées : [0,080 ; 0].

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

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

**En abscisse :**

Si  $D < 20$  mm, l'abscisse est a  $D/2$ .

Si  $D > 20$ mm, l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

$$D/2 = 7.5 \text{ mm.}$$

**En ordonnée :**

$$Y = 50 - \bar{D} + K + K_s + K_p$$

**Avec :**

K : coefficient qui dépend du dosage en ciment, de l'intensité de vibration, et de la forme des granulats roulés ou concassés.

Comme on a : Le dosage en ciment vaut 400Kg/m<sup>3</sup>

Une vibration normale.

Granulats de forme concassés.

La valeur de K = 0 (tableau 10.12 de [3]).

K<sub>s</sub> : coefficient tenant compte du module de finesse du sable M<sub>f</sub>.

Comme le module de finesse du sable vaut 2.8, la valeur de K<sub>s</sub> est calculée par la formule suivante :

$$K_s = 6M_f - 15 = 1.8$$

K<sub>p</sub> : coefficient de pompabilité, en peut prendre en générale K<sub>p</sub> = +5% à 10%

Notre béton n'est pas de qualité pompable d'où K<sub>p</sub> = 0.

$$D'où Y = 50 - \bar{15} + 1.8 + 0 + 0 = 47.93$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [7.5 ; 47.93]

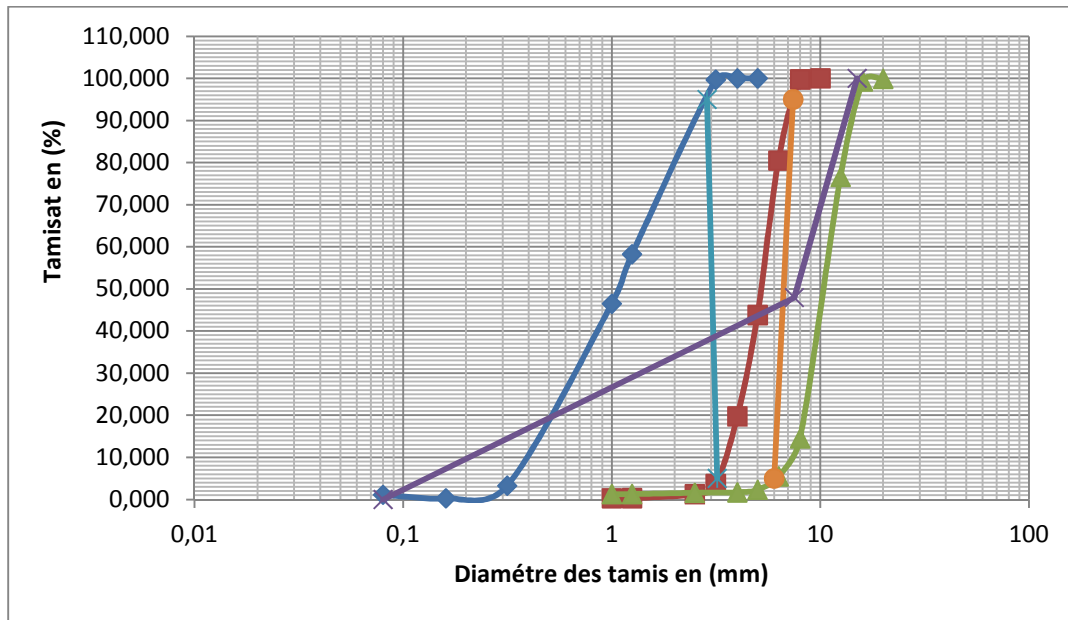


Figure II.2: Courbes granulaires des trois granulats, la courbe brisée, avec les lignes de partage.

### Les lignes de partage :

La droite de partage relie le point 95% (tamisât) d'un granulat au point 5% du granulat suivant. Les points d'intersection des lignes de partage avec la courbe brisée donnent en cumulés les pourcentages correspondant aux différents granulats successives. Il s'agit de pourcentages en volumes absolus.

Sur la courbe granulométrique, les points d'intersections entre les lignes de partage et la courbe de référence **OAB** donnent les pourcentages des granulats suivants :

<b>Sable (0/2.5)</b>	<b>39%</b>
<b>Gravier (3/8)</b>	<b>47%-39% = 8%</b>
<b>Gravier (8/15)</b>	<b>53%</b>

### ⚡ Coefficient de compacité :

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

$$V_M = V_G + V_C$$

Au volume total du béton frais soit un mètre cube :

$$\delta = \frac{V_M}{1000}$$

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité [15] et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 15 mm, on trouve une valeur de  $x = 0,808$ .  
Donc  $V_M = 808L$ .

### 3.3 Dosage des Granulats :

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

- Volume absolu du ciment :

$$V_C = \frac{m_c}{\gamma} = \frac{400}{3.1} = \mathbf{129.03 \text{ litre.}}$$

Avec :

$m_c$  : dosage (en masse) de ciment.

$\gamma = 3,1$  g/ml: masse volumique.

- Volume absolu des granulats (l'ensemble):

$$V_G \text{ N1000} \times > V_C \text{ N1000} \times 0.808 > 129.03 \text{ N } \mathbf{680 \text{ litre.}}$$

- Volume absolu du sable :

$$V_S = \frac{V_g \times 39}{100} = \frac{680 \times 39}{100} = \mathbf{265 \text{ litre.}}$$

- Volume absolu du gravier (3/8) :

$$V_S = \frac{V_g \times 8}{100} = \frac{680 \times 8}{100} = \mathbf{54.4 \text{ litre.}}$$

- volume du gravier (8/15) :

$$V_{g(8/15)} = \frac{V_g \times 53}{100} = \frac{680 \times 53}{100} = \mathbf{360 \text{ litre.}}$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m<sup>3</sup> de béton sont donnés par:

$$\underline{\text{Masse du sable :}} \quad M_S = V_S \times \gamma_s = \mathbf{663 \text{ kg}}$$

$$\underline{\text{Masse du gravier (3/8) :}} \quad M_{S(3/8)} = V_{S(3/8)} \times \gamma_{S(3/8)} = \mathbf{136 \text{ Kg}}$$

$$\underline{\text{Masse du gravier (8/15) :}} \quad M_{S(8/15)} = V_{S(8/15)} \times \gamma_{S(8/15)} = \mathbf{922 \text{ Kg}}$$

**Pour préparer 1m<sup>3</sup> de béton, il faudra donc les masses suivantes :**

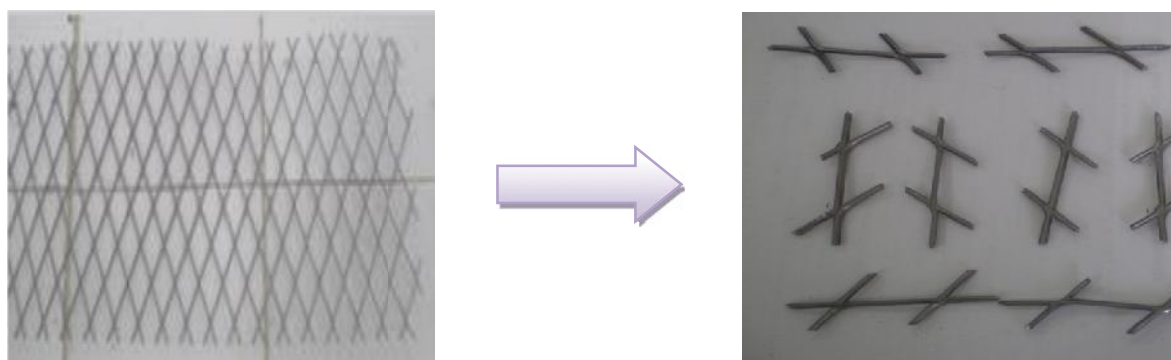
**Tableau II.9 : composition final pour 1m<sup>3</sup> de béton.**

	Volume (l/ m <sup>3</sup> )	Volume (Kg/m <sup>3</sup> )
Sable	265	663
Gravier 3/8	54.4	136
Gravier 8/15	360	922
Eau	194	194
Ciment	129.03	400
E/C	1.504	0.485

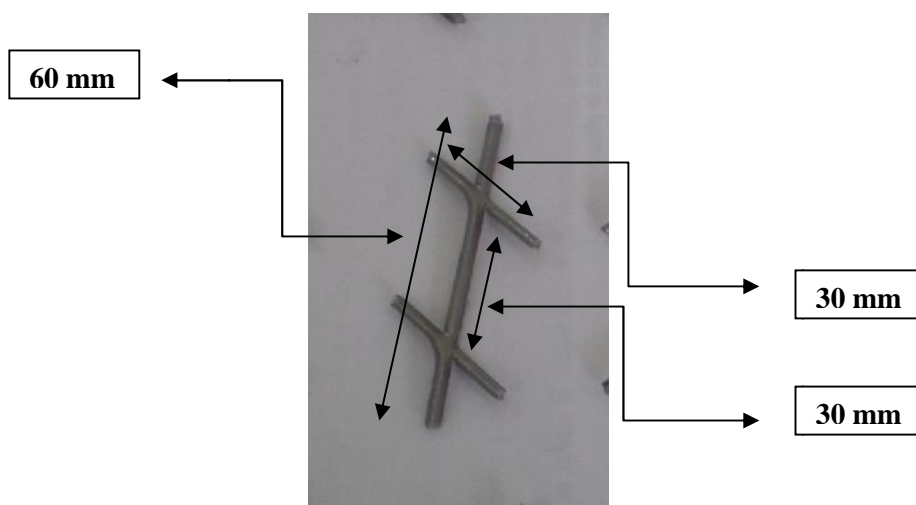
### **3.4 Fibres utilisés :**

#### **3.4.1 Fibres métallique :**

Les fibres métalliques proviennent du marché accessible à tous, elles sont vendues par mètre sous forme d'un grillage.



**Figure II.3 Découpage du grillage métallique en fibres**



**Figure II.4 Dimension d'une fibre métallique.**

## Caractéristiques des fibres métalliques utilisées dans le béton :

Tableau II.10 : Caractéristiques des fibres M.

Caractéristique de la fibre M	Longueur [mm]	Largueur [mm]	Epaisseur [mm]	Densité [g/cm <sup>3</sup> ]	Poids [g]
Valeurs	60	2	2	7.85	1.5

### 3.4.2 Fibres polypropylènes :

Les fibres utilisées proviennent du marché accessible à tous, elles sont vendues par mètre sous forme d'un grillage.

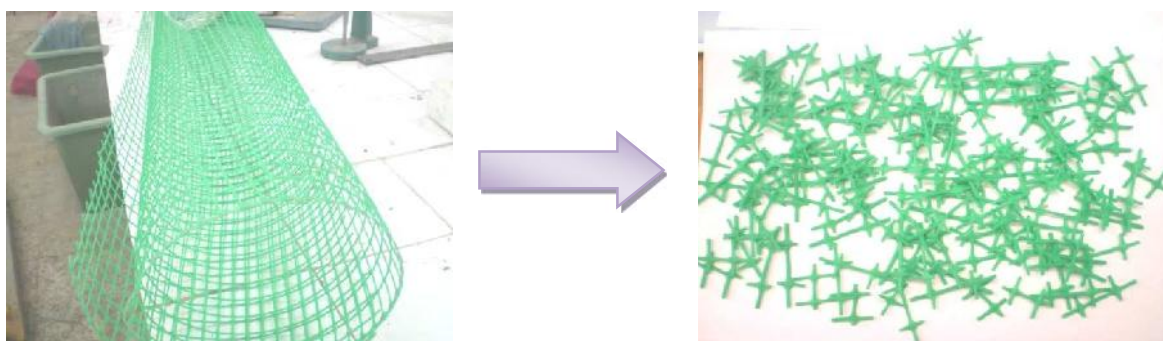


Figure II.5 Découpage du grillage polypropylène en fibres.

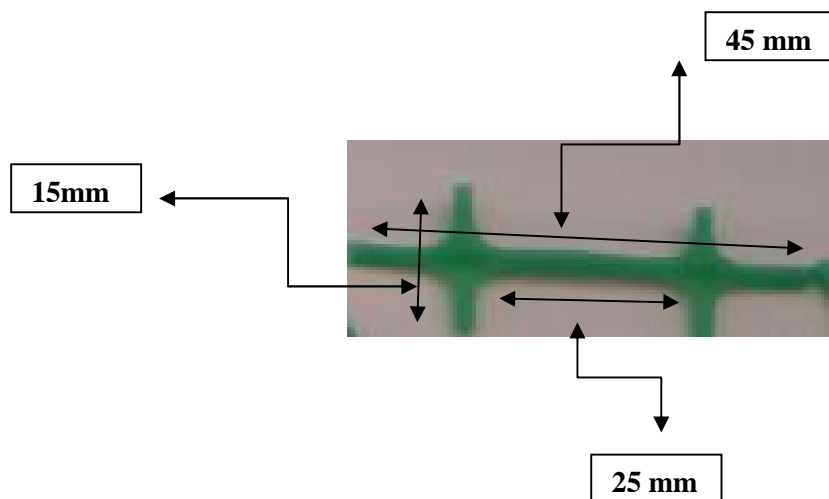


Figure II.6 Dimension d'une fibre PP.

## **Caractéristiques des fibres polypropylène utilisées dans le béton :**

**Tableau II.11 : Caractéristiques des fibres PP**

Caractéristiques des fibres PP	Longueur [mm]	Largueur [mm]	Epaisseur [mm]	Densité [g/cm <sup>3</sup> ]
Valeurs	45	2	2	0.9

### **3.4.3 Dosage des fibres :**

#### **Pour les dalles fibrées :**

On a varié 1.5% de fibres suivant les combinaisons suivantes :

**C1 : 1% M + 0.5% PP**

**C2 : 1% PP + 0.5%M**

**C3 : 0.75%PP + 0.75% M**

On a aussi ajouté des dalles fibrés a :

**C4 : 1.5%M aléatoires**

**C5 : 1.5% M orientées**

**C6: 1.5%PP**

#### **Pour les dalles renforcées d'un treillis soudé :**

**Dalles armé d'un treillis soudé.**

**Dalles armé d'un treillis soudé renforcé de 1%PP + 0.5% M.**

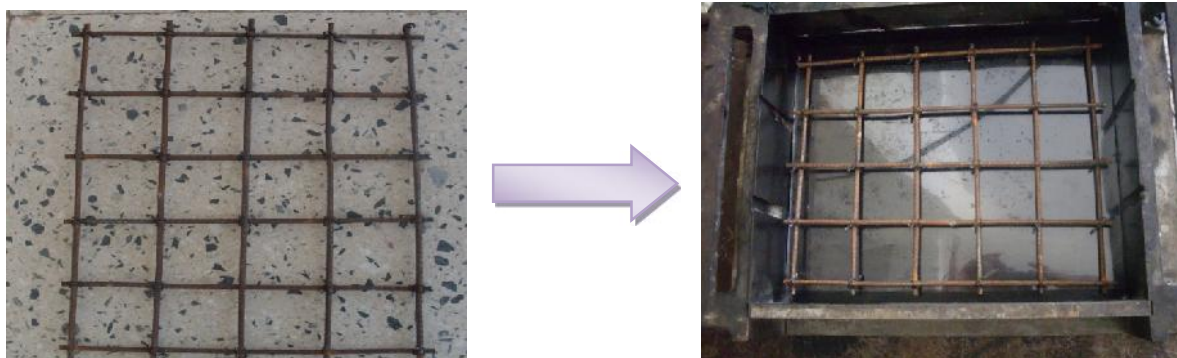
#### **Pour les cylindres :**

**Cylindres témoins.**

**Cylindres fibrés avec 1%PP + 0.5%M.**

### **3.5 Treillis soudés utilisés :**

Le treillis soudé provient du marché, de diamètre 4[mm], il a été façonné de manière a avoir un maillage adéquat à la dimension de la dalle (nombre de mailles 4x5), l'enrobage est pris en compte.



**Figure II.7 Treillis soudé.**

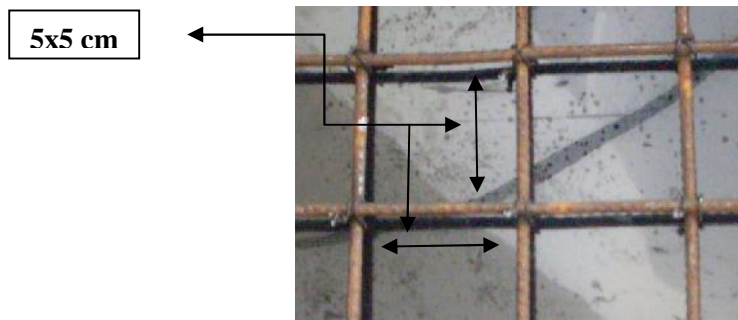


Figure II.8 Dimension des mailles.

**✚ Caractéristiques du treillis soudés utilisé dans le béton :**

**Tableau II.12 : Caractéristique du treillis soudé.**

Caractéristique du treillis soudés	Longueur [cm]	Largueur [cm]	Epaisseur [cm]	Mailles / [cm <sup>2</sup> ]	Enrobage [cm]	Poids [g]
Valeurs	26	21	0.4	25	0.5	250


**I.4 Quantités utilisées pour la réalisation des différentes gâchées :**

**✚ Quantité nécessaire pour l'essai de compression :**

**Pour des cylindres (10x20) cm**

$$V_{\text{Cylindre}} = 1570 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Majoré de 10% [kg]		
	1 cylindre	3 cylindres
Sable	1.14	3.42
Gravier 3/8	0.23	0.7
Gravier 8/15	1.6	4.8
Eau	0.33	1
Ciment	0.7	2.1

 Quantité nécessaire pour l'essai de poinçonnement :

**Pour une dalle (23 x 28 x 3) cm**

$$V_{\text{dalle}} = 1932 \text{ [cm}^3\text{]}$$

<b>Majoré de 10% [kg]</b>		
	<b>1 dalle</b>	<b>3 dalles</b>
<b>Sable</b>	<b>1.41</b>	<b>4.23</b>
<b>Gravier 3/8</b>	<b>0.29</b>	<b>0.87</b>
<b>Gravier 8/15</b>	<b>1.96</b>	<b>5.9</b>
<b>Eau</b>	<b>0.41</b>	<b>1.23</b>
<b>Ciment</b>	<b>0.85</b>	<b>2.55</b>

 Quantités utilisées pour les différents dosages en fibres :

**Pour une dalle :**

<b>Majoré de 10% [g]</b>		
	<b>Masse des Fibres PP [g]</b>	<b>Masse des Fibres M [g]</b>
<b>C1 : 1% M + 0.5% PP</b>	<b>9.56</b>	<b>166.83</b>
<b>C2 : 1% PP + 0.5%M</b>	<b>19.13</b>	<b>83.41</b>
<b>C3 : 0.75%PP + 0.75% M</b>	<b>14.34</b>	<b>125.12</b>
<b>C4 : 1.5%M</b>	<b>/</b>	<b>250</b>
<b>C6 : 1.5% PP</b>	<b>28.69</b>	<b>/</b>

**Pour un cylindre :**

<b>Majoré de 10% [g]</b>		
	<b>Masse des Fibres PP [g]</b>	<b>Masse des Fibres M [g]</b>
<b>C2 : 1%PP+0.5%M</b>	<b>15.54</b>	<b>67.78</b>

## **I.5 Etapes de la réalisation des différentes gâchées :**

### **5.1 Préparation et fabrication des moules :**

Les divers formes et types de moules utilisés pour la réalisation des dalles de (28x23x3) cm sont des moules métalliques de dimensions (28x23x7) cm, un coffrage en bois permettant le coulage de dix dalles à la fois de dimensions (28x23x3) cm afin d'avoir la même gâchée pour chaque série de dalles. On a aussi fabriqué trois coffrages en bois de dimension (23x28x3) cm.

Pour les cylindres ( 10x20) cm, nous avons utilisé des moules métalliques.

	
<p><u>Moule métallique pour dalle</u></p>	<p><u>Moule en bois 23 x 28 x 3 cm</u></p>
	
<p><u>Moule en bois 23 x 28 x 3 cm</u></p>	<p><u>Moule cylindrique 10 x 20 cm</u></p>

Figure II.9 Forme des moules.

### **5.2 Malaxage et réalisation du béton :**

Après avoir pesé les quantités des matériaux utiles, on les a introduites dans le malaxeur. Le malaxage de béton est réalisé avec un malaxeur à axe vertical de capacité 65L (*Figure II.10*), l'opération est arrêtée après l'obtention d'une consistance homogène du mélange.



Figure II.10 malaxeur

Les moules étant lubrifiés avec de l'huile de vidange. La mise en place du béton dans les moules a été effectuée dans les différents moules destinés aux éprouvettes programmées aux essais, et suivie de vibration à l'aide des dispositifs vibratoires traditionnels, principalement une table vibrante, et une aiguille vibrante pour la vibration du béton mit en place dans le moule en bois vue ses dimensions importantes.



Figure II.11 dispositifs vibratoires.

a) **Réalisation du béton à fibres hybride (polypropylène et métallique) :**

L'innovation dans les sciences de la construction passe en partie par le développement de nouveaux matériaux et la maîtrise de leurs propriétés. Le béton renforcé de fibres est l'un de ces matériaux.

La réalisation du béton avec fibres ne soulève aucune difficulté, la répartition des fibres se fait facilement et ne nécessite aucune précaution particulière.

Le malaxage du béton de fibres se fait comme suite :

- Disposer le sable dans le malaxeur, ajouter le gravier et malaxer pendant deux minutes.
- Verser 10% de l'eau de gâchage (foisonnement du sable), et mélanger avec une truelle pendant quelques minutes.
- Introduire les fibres métalliques et polypropylène d'une manière aléatoire.
- Malaxer encor pendant deux à trois minutes avant de rajouter le ciment.
- En fin rajouter entièrement l'eau de gâchage, puis bien malaxer jusqu'à l'homogénéisation du béton de fibres.

La vibration se fait à l'aide de l'aiguille vibrante pendant 30 secondes.



Figure II.12 Réalisation des neufs dalles à fibres variées.

**Remarque :**

**La réalisation du béton de fibres polypropylènes et du béton de fibres métalliques se fait suivant les mêmes étapes que précédemment.**

**b) Réalisation du béton témoin :**

La réalisation du béton témoin se fait comme suite :

- Disposer le sable dans le malaxeur, ajouter le gravier et malaxer pendant deux minutes.
- Verser 10% de l'eau de gâchage (foisonnement du sable), et mélanger avec une truelle pendant quelques minutes avant de rajouter le ciment.
- En fin rajouter entièrement l'eau de gâchage, puis bien malaxer jusqu'à l'homogénéisation du béton.

La vibration se fait pendant 15s à mis hauteur du remplissage des cylindres et des dalles, puis au remplissage final.



Figure II.13 Réalisation du béton témoin.

#### c) Réalisation du béton armé :

La réalisation du béton armé se fait comme suite :

- Disposer le sable dans le malaxeur, ajouter le gravier et malaxer pendant deux minutes.
- Verser 10% de l'eau de gâchage (foisonnement du sable), et mélanger le avec une truelle pendant quelques minutes avant de rajouter le ciment.
- En fin rajouter entièrement l'eau de gâchage, puis bien malaxer jusqu'à l'homogénéisation du béton.

Le treillis soudé est disposé sur une couche de béton de 1 [cm], puis recouvert d'une autre couche de 2 [cm].

La vibration se fait pendant 15 secondes sur la table vibrante pour la première puis pour la dernière couche.

#### d) Réalisation du béton de fibres métalliques orientées :

La réalisation du béton se fait de la même manière que le béton témoin.

La disposition des fibres se fait comme suite :

- Pour 1.5% de fibres métalliques, nous avons l'équivalent de 250gr de fibres, ce qui fait un total de 166 éléments disposés en 3 couches, donc 55 éléments par couche.
- Expérimentalement il a été possible de disposé 52 élément par couche.

La vibration se fait pendant 15 secondes pour la seconde et la dernière couche.



Figure II.14 Réalisation du béton de fibres métalliques orientées.

e) **Réalisation du béton armé renforcé de fibres hybride (métallique + polypropylène) :**

la réalisation de ce béton se fait de la même manière que le béton de fibres variées. Le treillis soudé est disposé sur une couche de béton fibré de 1 [cm], puis recouvert d'une autre couche de 2 [cm].

La vibration se fait pendant 15 secondes sur la table vibrante pour la première puis pour la dernière couche.

- Une fois coulés, les échantillons ont été recouverts d'un film plastique humide pour éviter l'évaporation de l'eau (effet de retrait).
- Le démoulage à été effectué après 24 heures.
- Après le démoulage toutes les éprouvettes ont été émergées dans un bac à eau pendant 07 jours.

**II Essais mécanique :**

**II.1 Essais de compression :**

**1.1 Détermination de la résistance mécanique en compression uni axiale du béton :**

Les spécimens utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression du béton étudiés sont des éprouvettes cylindriques de diamètre 10 cm et de hauteur 20 cm. Le test de compression est effectué sur une presse hydraulique équipée d'une cellule de force d'une capacité 5000 kN. L'essai s'effectue avec une vitesse de chargement de 0,5 MPa/s soit 5 kN/s selon la norme NF 12390-3.

Cette presse dispose d'un capteur de force très précis, elle nous donne la force et la contrainte maximales.

L'opération consiste à mettre l'éprouvette dans la presse et de mettre en place un comparateur pour mesurer les déformations longitudinales, après la mise en marche de la machine on mesure les déformations d'un pas de 10KN.

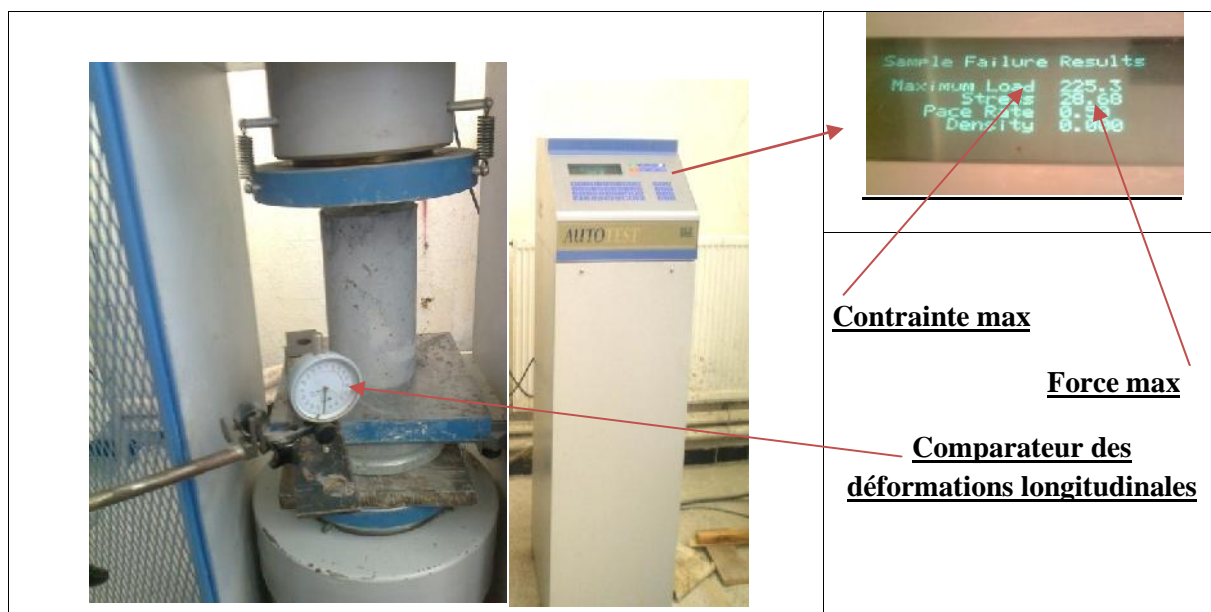


Figure II.15 : Machine d'essai de compression et système d'acquisition de données.

## 1.2 Résultats obtenus des essais de compression :

### ✚ Béton témoin :

La moyenne obtenue des déplacements mesurés avec le comparateur longitudinal sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.13: La moyenne des deux éprouvettes cylindriques : Béton témoin**

Force [KN]	$\Delta L1 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L2 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L \times 10^{-3}$ [mm]	$\epsilon L \times 10^{-3}$	$\sigma$ [MPa]
0	0	0	0	0	0
10	0	55	27.5	0.1375	1.27388535
20	0	225	112.5	0.5625	2.5477707
30	55	380	217.5	1.0875	3.82165605
40	142	488	315	1.575	5.0955414
50	191	585	388	1.94	6.36942675
60	236	682	459	2.295	7.6433121
70	289	785	537	2.685	8.91719745
80	340	789	564.5	2.8225	10.1910828
90	383	837	610	3.05	11.4649682
100	412	909	660.5	3.3025	12.7388535
110	446	973	709.5	3.5475	14.0127389
120	491	1020	755.5	3.7775	15.2866242
130	530	1071	800.5	4.0025	16.5605096
140	572	1157	864.5	4.3225	17.8343949
150	603	1204	903.5	4.5175	19.1082803
160	630	1254	942	4.71	20.3821656
170	680	1345	1012.5	5.0625	21.656051
180	740	1400	1070	5.35	22.9299363
190	775	1467	1121	5.605	24.2038217
200	820	1570	1195	5.975	25.477707
210	870	1675	1272.5	6.3625	26.7515924
220	956	2030	1493	7.465	<b>28.0254777</b>

**Avec :**

L : déplacement longitudinal en mm ;

$\epsilon_L$  : déformation longitudinale,  $\epsilon_L = \Delta L / L$  avec  $L = 200\text{mm}$ ,  $\sigma = F / S$  ;

$\sigma$  : contrainte en MPa,  $\sigma = F / S$ , F : force en KN ;

S : section géométrique du cylindre en  $\text{mm}^2$  ;

$$S = \frac{D^2}{4} = \frac{3.14 \times 100^2}{4} = 7850 \text{ mm}^2.$$

La courbe contrainte déformation obtenue est la suivante :

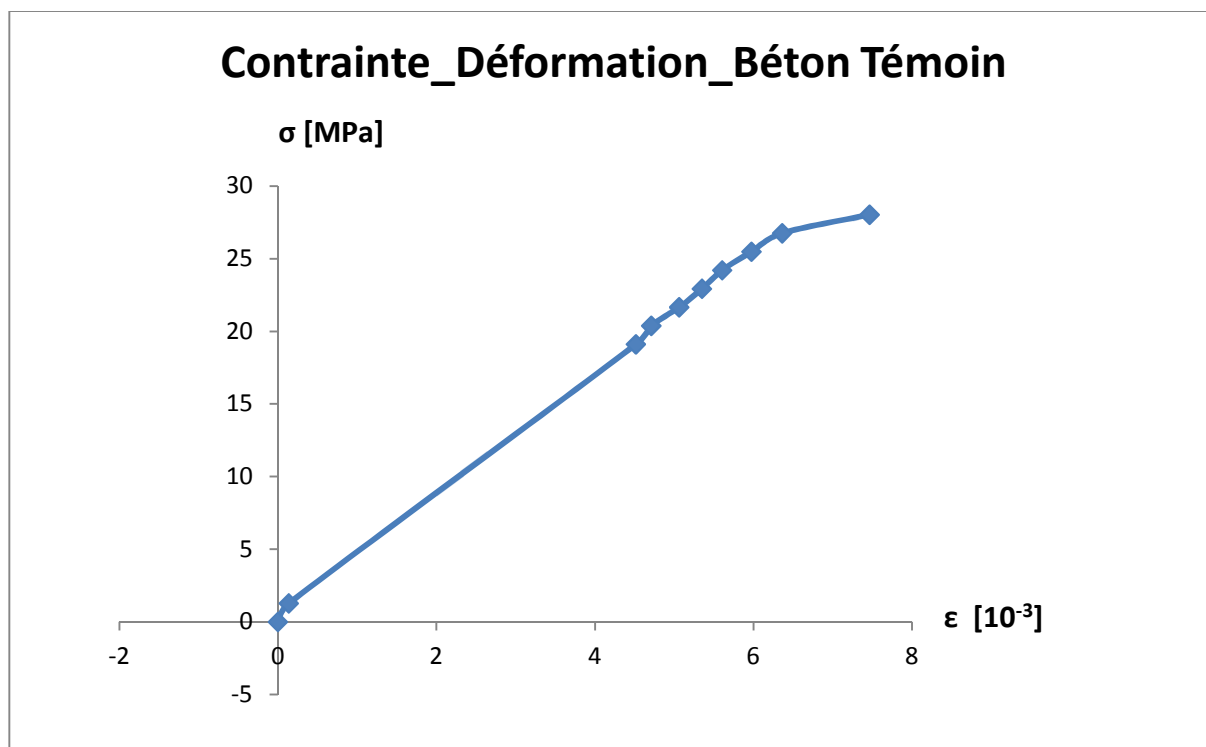


Figure II.16: Courbe de contrainte déformation du béton témoin en compression

**✚ Béton renforcé de fibres avec 1%PP + 0.5%M :**

**Tableau II.14 : La moyenne des trois éprouvettes cylindriques : 1%PP + 0.5%M**

Force [kN]	$\Delta L1 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L2 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L3 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L \times 10^{-3}$ [mm]	$\epsilon L \times 10^{-3}$	$\sigma$ [MPa]
0	0	0	0	0	0	0
10	130	5	30	55	0.275	1.27388535
20	365	160	196	240.333333	1.20166667	2.5477707
30	541	258	390	396.333333	1.98166667	3.82165605
40	670	369	586	541.666667	2.70833333	5.0955414
50	910	440	780	710	3.55	6.36942675
60	1051	544	900	831.666667	4.15833333	7.6433121
70	1156	610	991	919	4.595	8.91719745
80	1280	691	1070	1013.66667	5.06833333	10.1910828
90	1405	779	1160	1114.66667	5.57333333	11.4649682
100	1530	854	1220	1201.33333	6.00666667	12.7388535
110	1720	983	1330	1344.33333	6.72166667	14.0127389
120	1990	1090	1397	1492.33333	7.46166667	15.2866242
130	2390	1230	1493	1704.33333	8.52166667	16.5605096
140	2602	1545	1624	1923.66667	9.61833333	17.8343949
150	2940	2500	1770	2403.33333	12.0166667	<b>19.1082803</b>

La courbe contrainte déformation obtenue est la suivante :

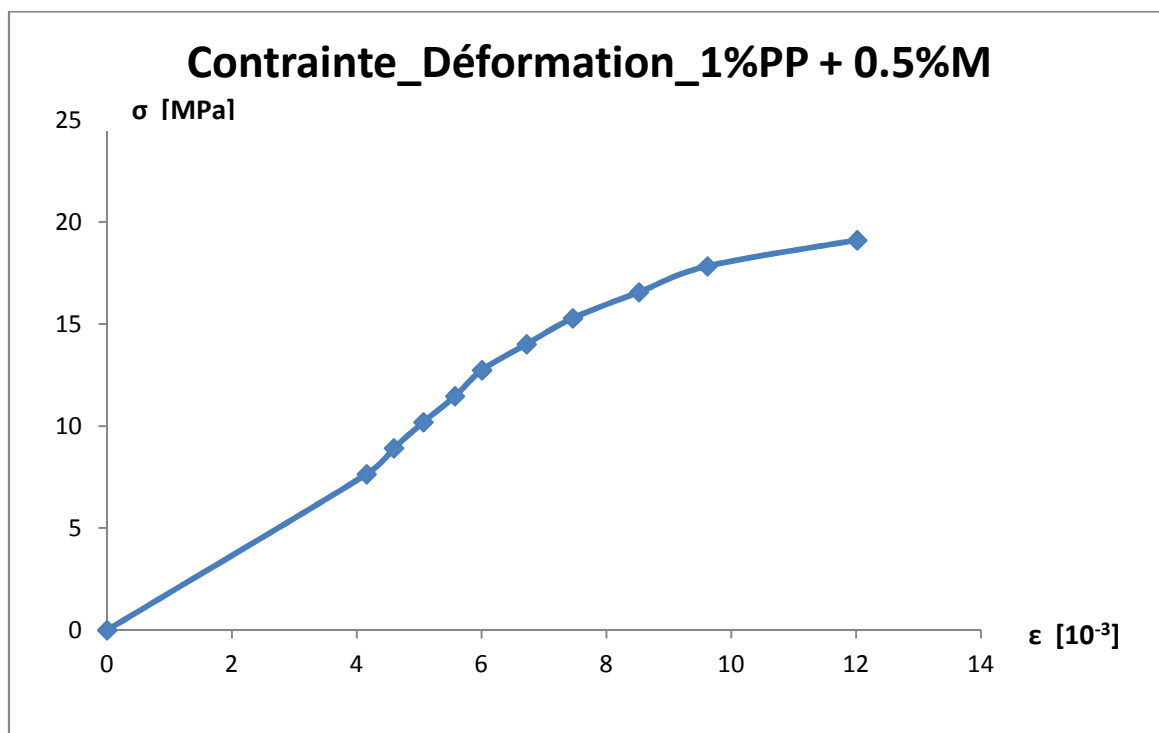


Figure II.17 : Courbe de contrainte déformation du béton renforcé de 1% PP + 0.5%M en compression

**Comparaison entre le béton témoin et le béton renforcé de fibres en compression :**

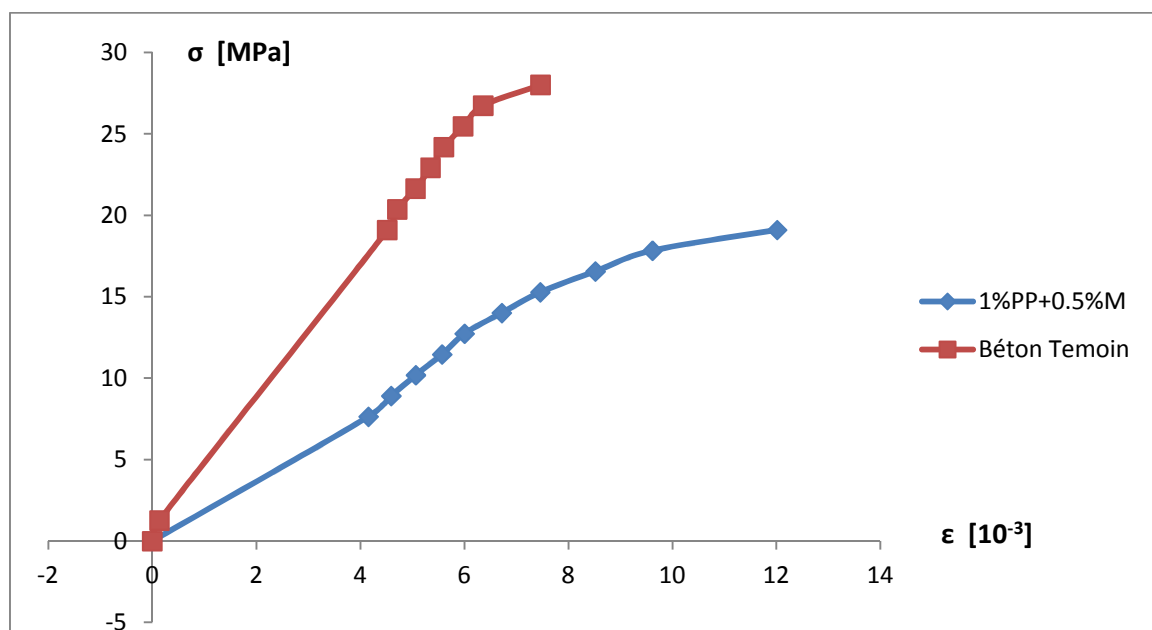


Figure II.18: comparaison du béton témoin avec un béton renforcé de fibres à 1%PP+0.5%M

**Histogrammes de comparaisant des contraintes max entre le béton témoin et le béton renforcé de 1%PP+0.5%M :**

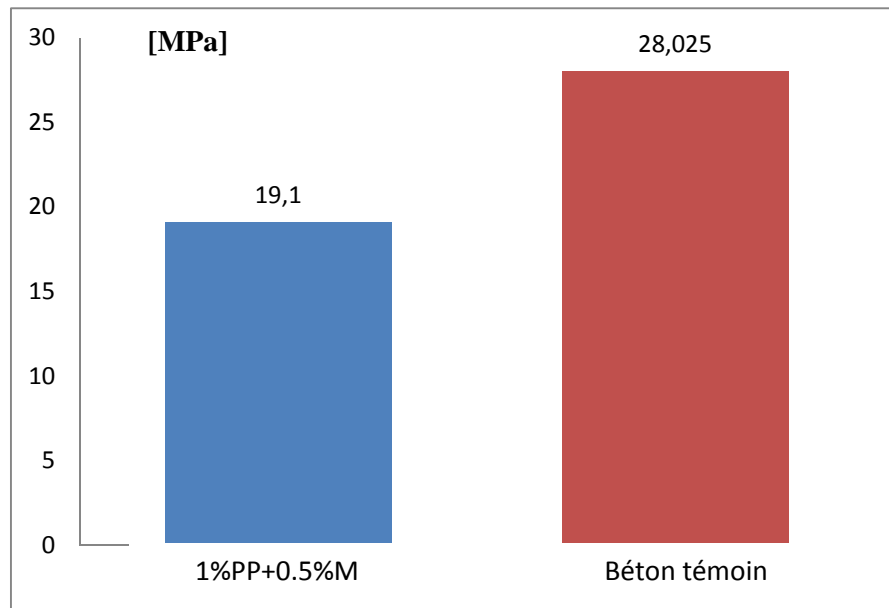


Figure II.19: Histogramme comparative des contraintes max de rupture.

**1.3 Interprétation des courbes et discussion :**

Les courbes obtenues (figure II.18) présentent toutes une partie droite dans le domaine élastique, puis ces courbes s'éloignent de cette droite. Le comportement devient non linéaire. Le pic des courbes correspond à la résistance maximale  $f_{cj}$  qui est de **28.02 MPa** pour le béton témoin, et de **19.01 MPa** pour le béton renforcé de 1%PP + 0.5%M, et au-delà, les courbes présentent un palier de ductilité qui, dans certains cas, est décroissant jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette. Cette forme de courbe correspond bien au comportement réel du béton en compression.

On notera que l'ajout d'un pourcentage important de fibres polypropylène, diminue la résistance du béton, cela est dû au comportement fragile de ces fibres en compression.

Les déformations  $\epsilon$  sont plus importantes que dans le béton témoin, ceci est dû à la présence des fibres dans le béton.

Les résultats obtenus après écrasements des éprouvettes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.15 : Résultats des essais de compression simple (forces max et résistances max) en fonction des pourcentages des fibres :**

Type de béton	% de fibres	Force max	Résistance max
Béton témoin	0%	220.3	28.025
Béton fibrés	1%PP+0.5%M	152.76	19.10

## **Mode de rupture des éprouvettes cylindriques:**



Figure II.20 : Eclatement du béton témoin



Figure II.21 : Eclatement du béton fibrés

### **II.2 Essais de poinçonnement :**

#### **2.1 Détermination de la résistance mécanique par poinçonnement :**

La machine universelle d'essais IBERTEST modelIB-200EW permet d'exécuter des essais de traction, compression, poinçonnement, flexion, pliage, cisaillement...

Sa capacité est de 200 KN, pour l'essai de poinçonnement, utilisant un seul espace de travail.

Le bâti a été projeté de façon à disposer d'une très haute rigidité structurale, pour qu'au moment de la rupture de l'éprouvette, le bâti lui-même absorbe la plupart de l'énergie libérée. L'installation est contrôlée 100 % de puis le clavier de l'ordinateur complémenté avec un logiciel pour des essais.

Les forces d'essais sont exécutées par un système de transmission actionne par un servomoteur qui provoque des sollicitations à compression en descendant et à traction en montant.



Figure II.22 : machine IBERTESTE



Figure II.23: logiciel de la machine IBERTESTE



## 2.2 Résultats obtenus des essais de poinçonnement :

**Tableau II.16: Résultats des essais de poinçonnement des différents pourcentages de renforcements de fibres**

Type de béton	Pourcentage de fibres	Déplacements [mm]	Forces [KN]
Béton témoin	0%	1.075	4.00
Béton de fibres	0.5%M + 1%PP	1.34	5.59
	0.75%M + 0.75%PP	1.30	5.69
	1%M + 0.5%PP	1.27	6.58
	1.5% M	1.20	6.71
	1.5% PP	1.31	5.34
	1.5% M orientés	2.17	6.71
Béton armé	0%	4.69	15.34
	1%PP + 0.5%M	3.98	15.60

Les résultats des essais sur les dalles en béton témoin BT (sans fibres) et béton renforcé de fibres sont représentés par les figures qui suivent :

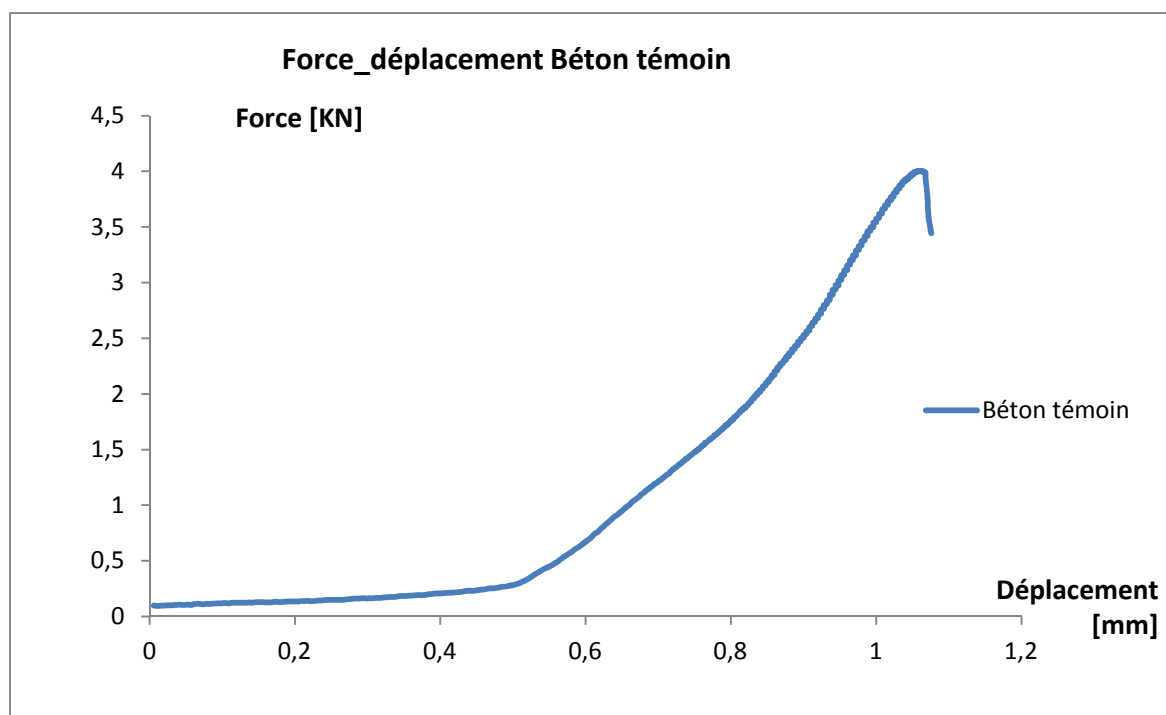


Figure II.26: Courbe force déplacement béton témoin.

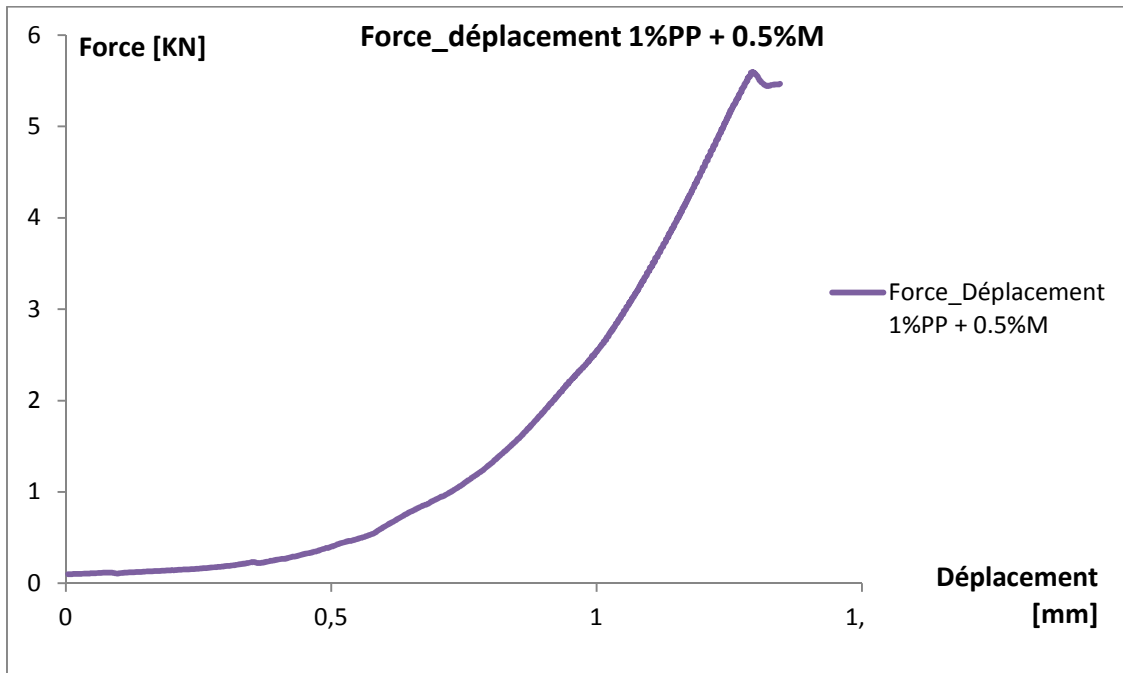


Figure II.27: Courbe force déplacement du béton fibré a 1%PP + 0.5%M.

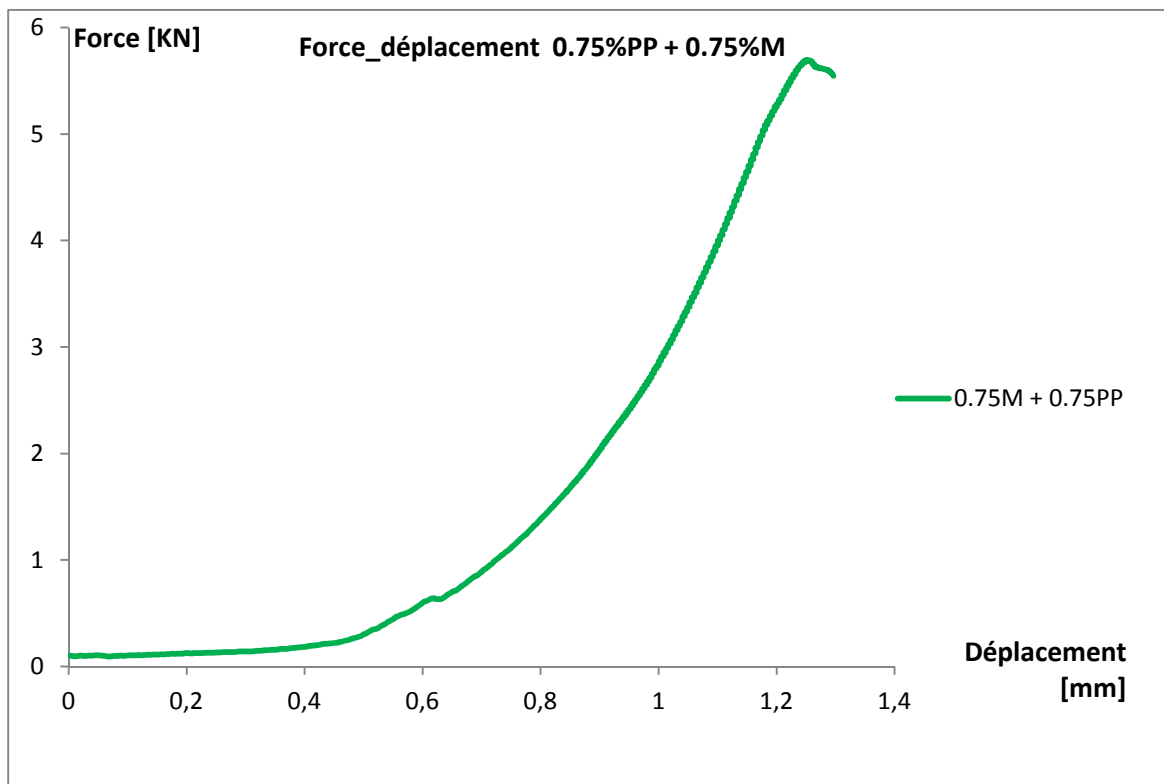


Figure II.28: Courbe force déplacement du béton fibré a 0.75%PP + 0.75%M.

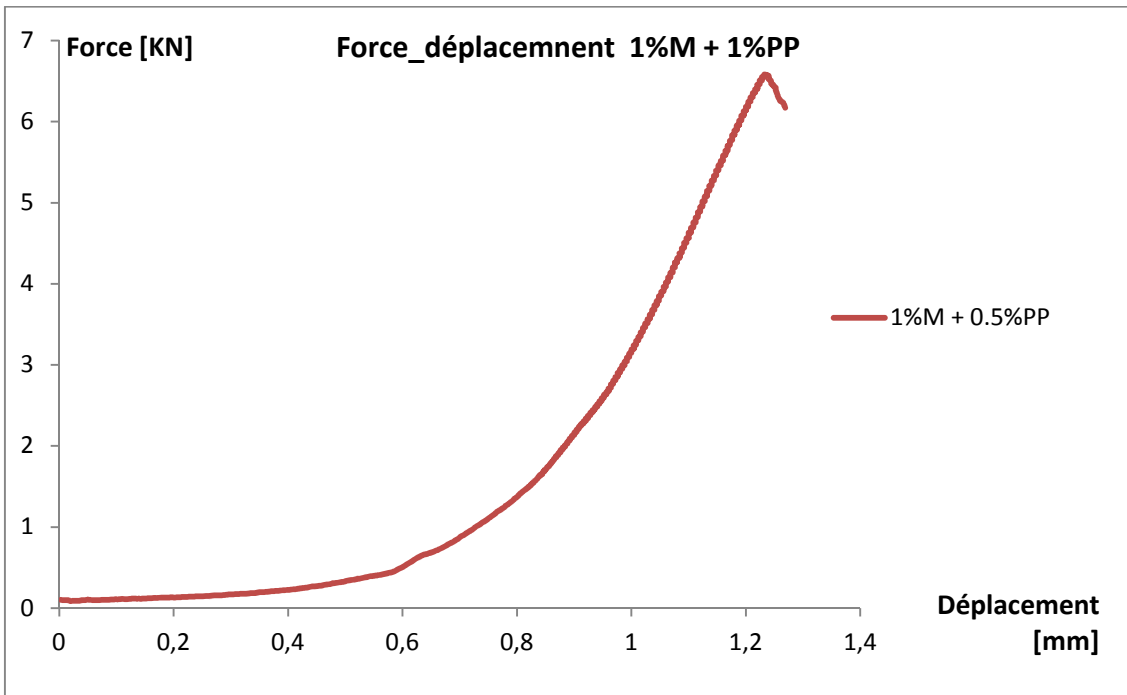


Figure II.29: Courbe force déplacement du béton fibré a 0.75%PP + 0.75%M.

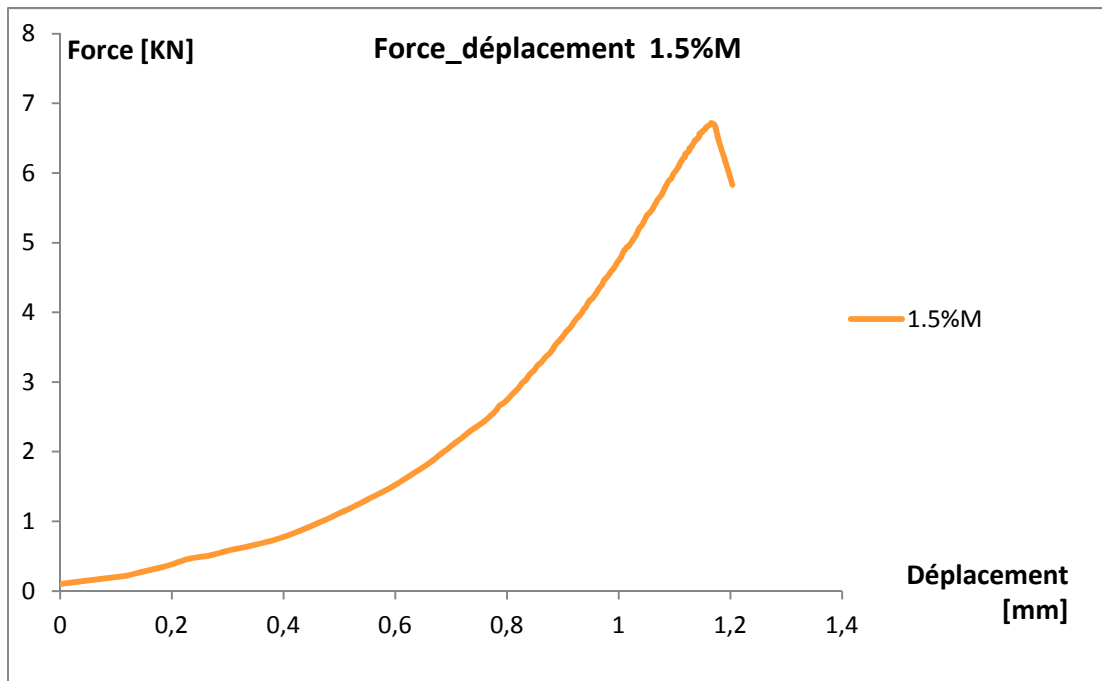


Figure II.30: Courbe force déplacement du béton fibré a 1.5%M.

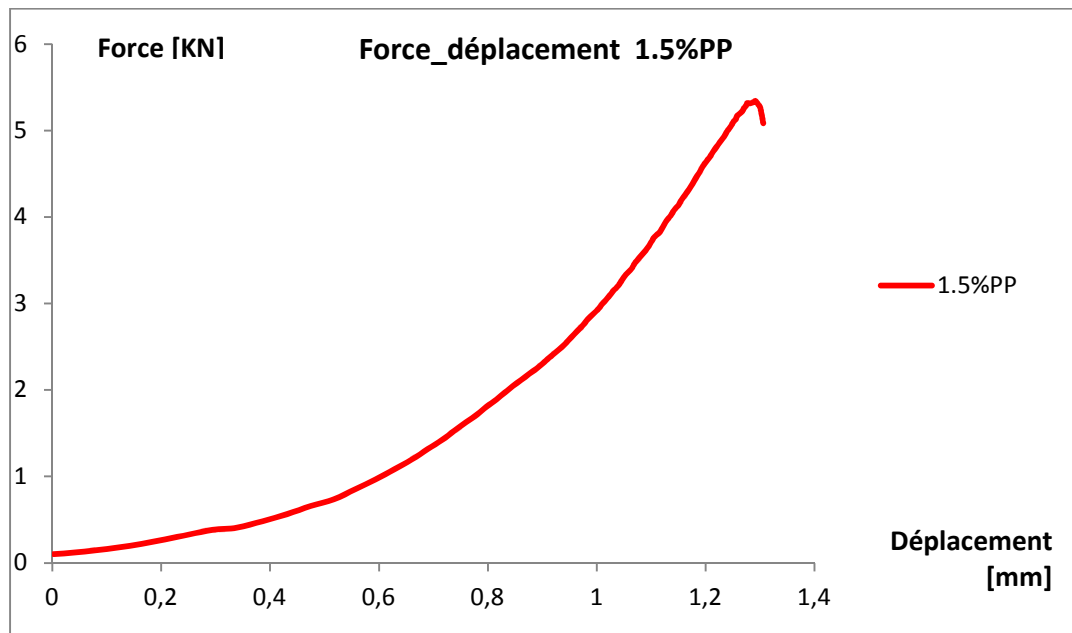


Figure II.31: Courbe force déplacement du béton fibré a 1.5%PP.

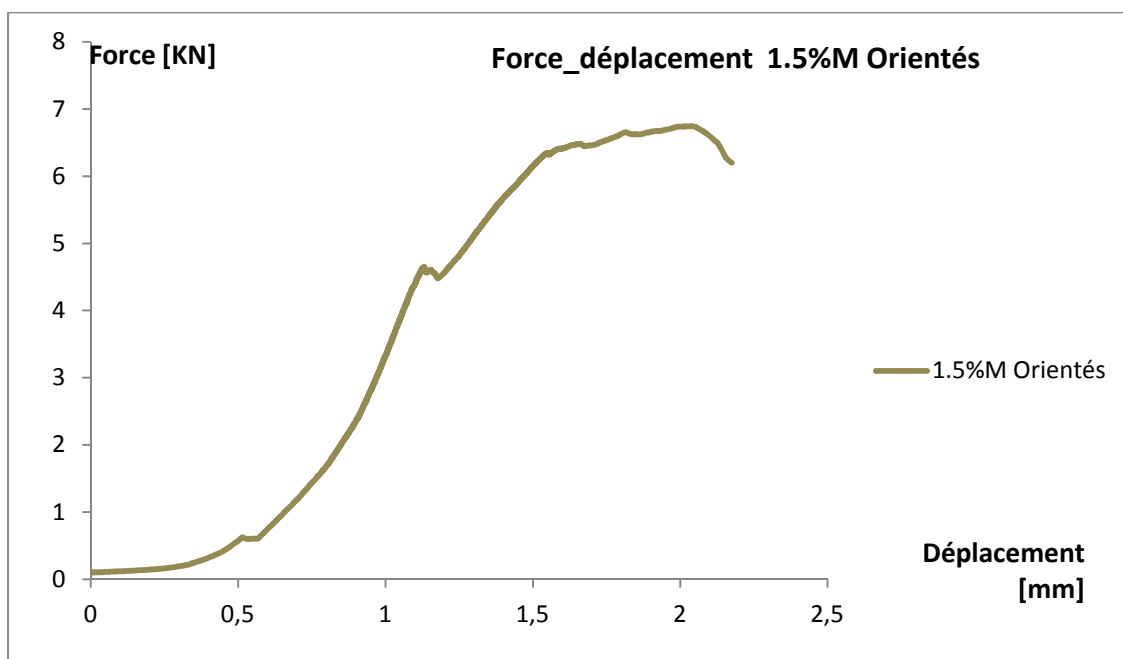


Figure II.32: Courbe force déplacement du béton fibré a 1.5%M Orientés.

## Etude comparative :

### a) Comparaison entre les 3 combinaisons et le béton témoin :

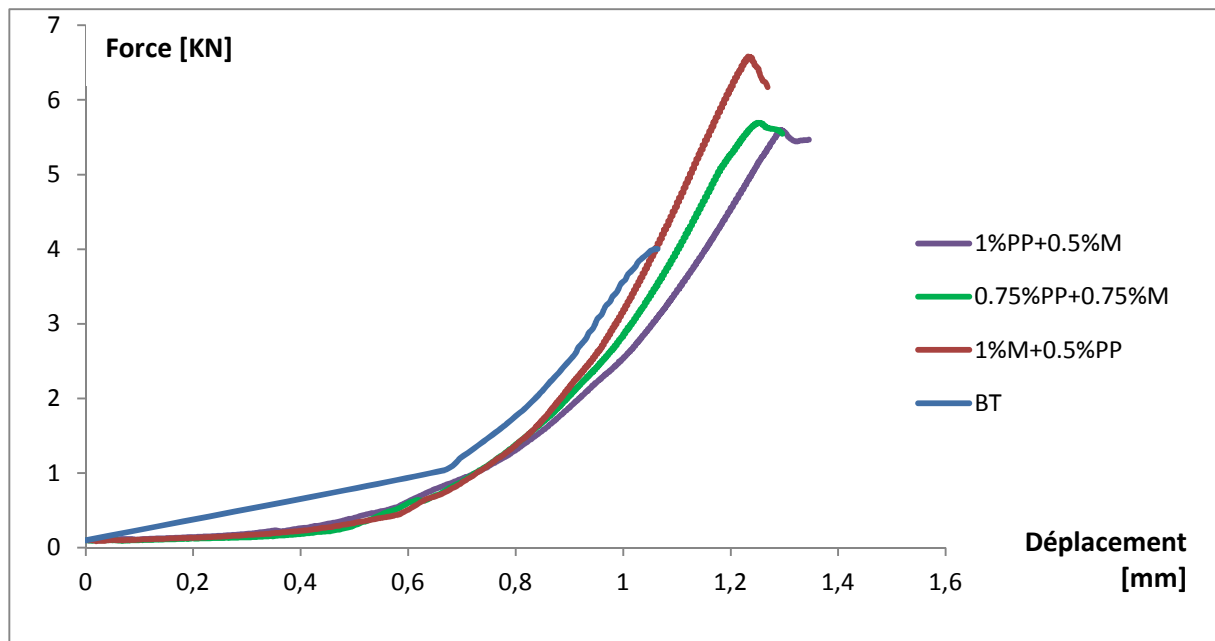


Figure II.33: Comparaison du béton fibrés et le béton témoin.

## 2.3 Interprétations et discussions :

### ✓ Interprétation et discussions de la figure (II.33):

- Pour la figure (II.33) qui représente la comparaison entre les 3 combinaisons hybrides et le béton témoin, on remarque que la force maximale est atteinte par le renforcement de **1.5%M + 0.5%PP**, et qui est égale a **6.58 [KN]**, cela est due aux propriétés mécaniques des fibres d'acier, qui ont pour rôle d'amélioré la résistance du béton.
- On remarque aussi que la résistance diminue au fur et à mesure qu'on réduit le pourcentage de fibres métalliques incorporé dans le béton, mais elle reste néanmoins supérieure à celle du béton témoin qui est de l'ordre de **4[KN]**.
- L'amélioration en termes de déformation est due à la présence des fibres polypropylène dans le béton en plus des fibres métalliques.

a) Comparaison entre les 5 combinaisons et le béton témoin :

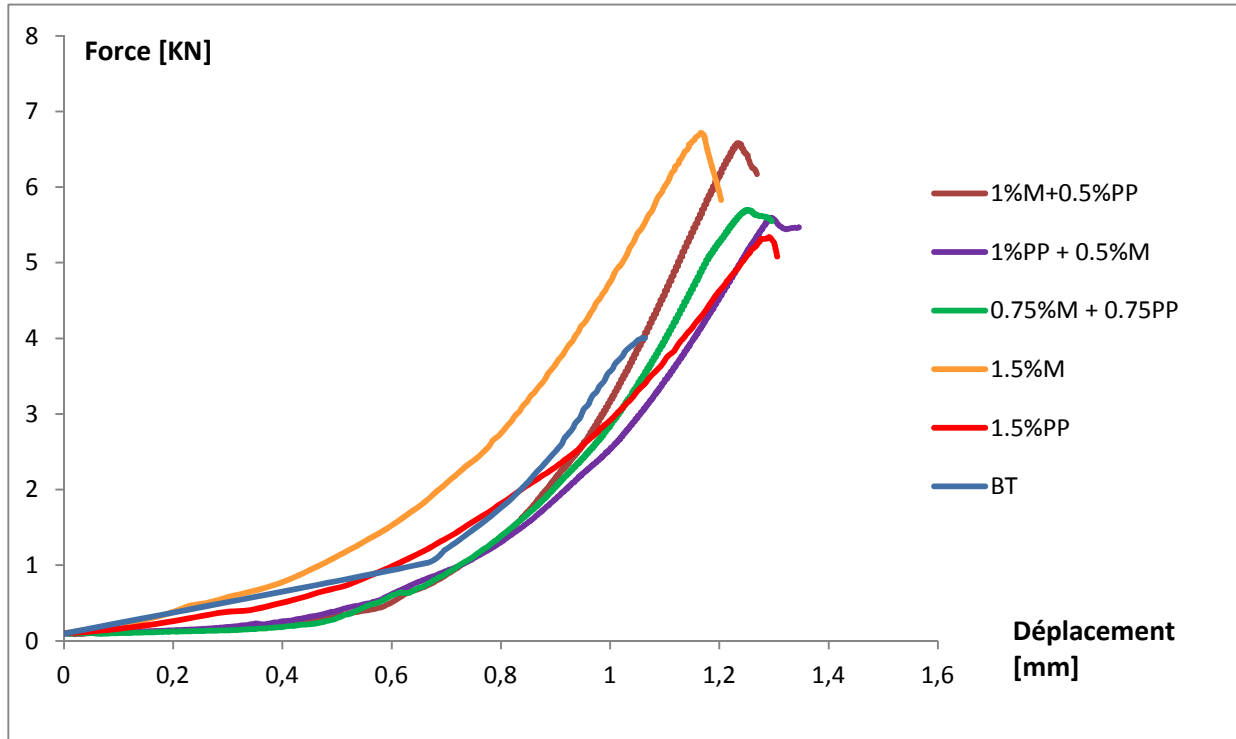


Figure II.34: Comparaison entre les 5 combinaisons et le béton témoin.

❖ Histogramme de comparaison :

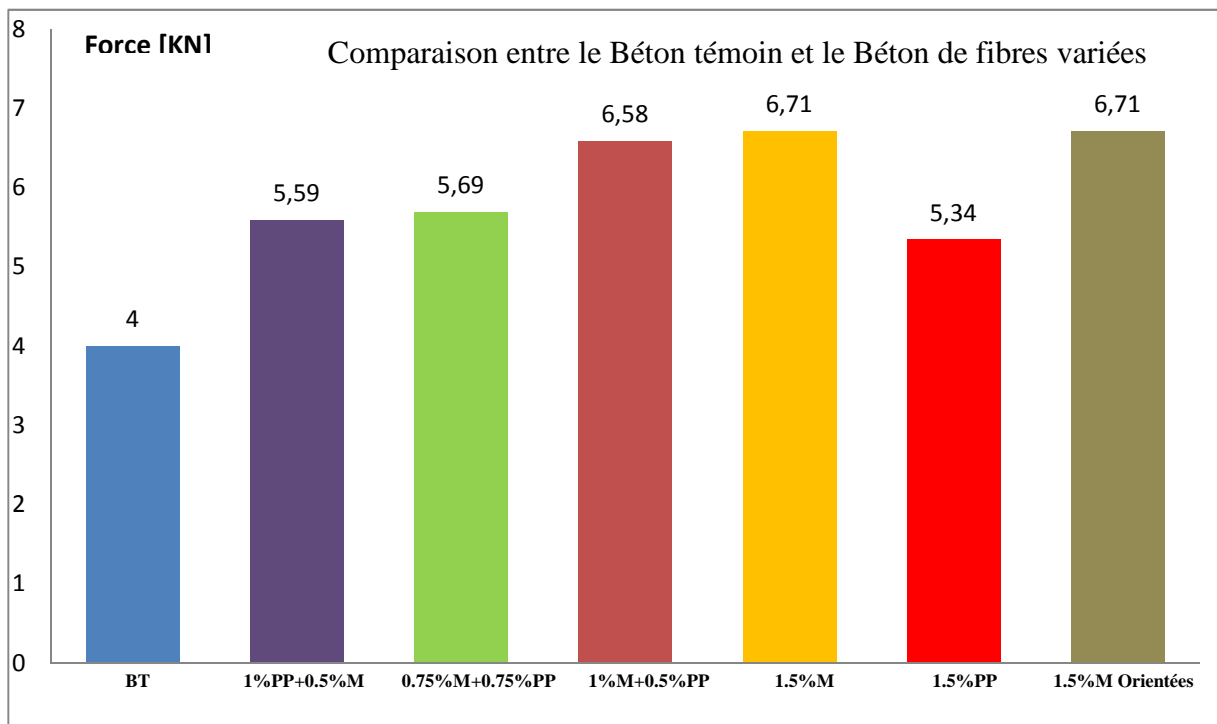
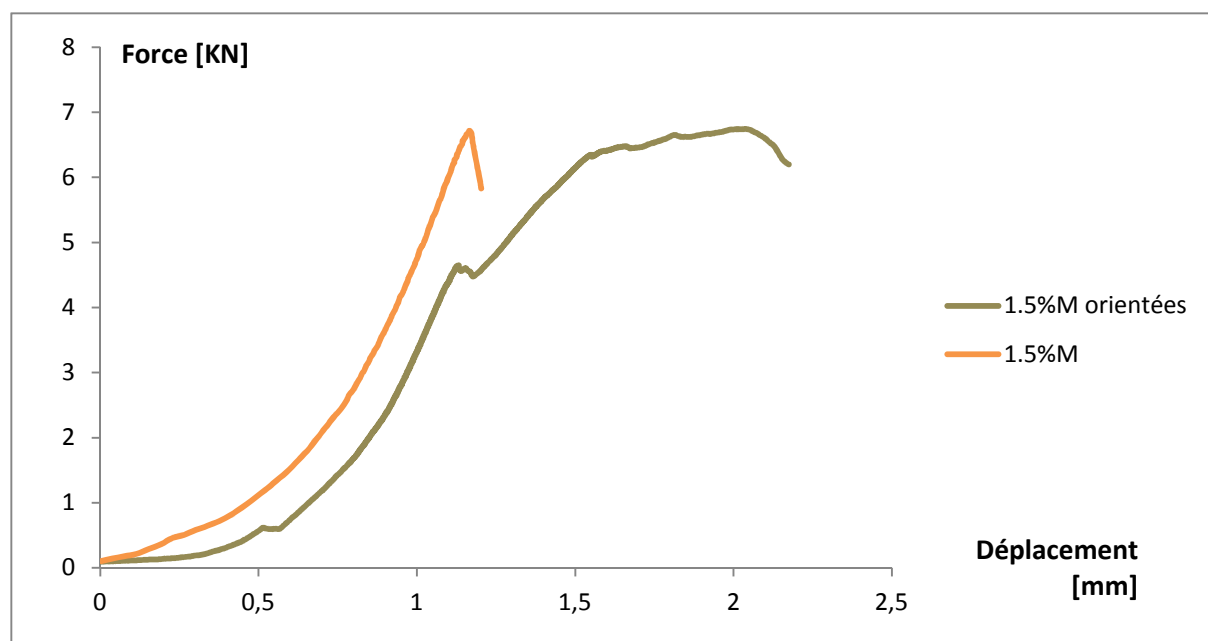


Figure II.35: histogramme comparatif entre les 6 combinaisons et le béton témoin.

✓ Interprétation et discussions de la figure (II.34):

- L'ajout de 1.5% de fibres métalliques améliore d'une manière considérable la résistance qui atteint **6.71 [KN]**, par rapport à la résistance du béton témoin, qui est de l'ordre de **4[KN]**.
- On remarque que l'allure de la courbe 1.5%M, est presque la même que celle de 1%M + 0.5%PP, à la différence que cette dernière est meilleur en terme de déformabilité, cela est due à la présence de 0.5% de fibres polypropylènes dans le béton.

b) Comparaison entre le béton fibré a 1.5%M et le béton fibré a 1.5%M orientés:



La Figure II.36: Comparaison entre le béton fibré a 1.5%M et 1.5%M Orientés.

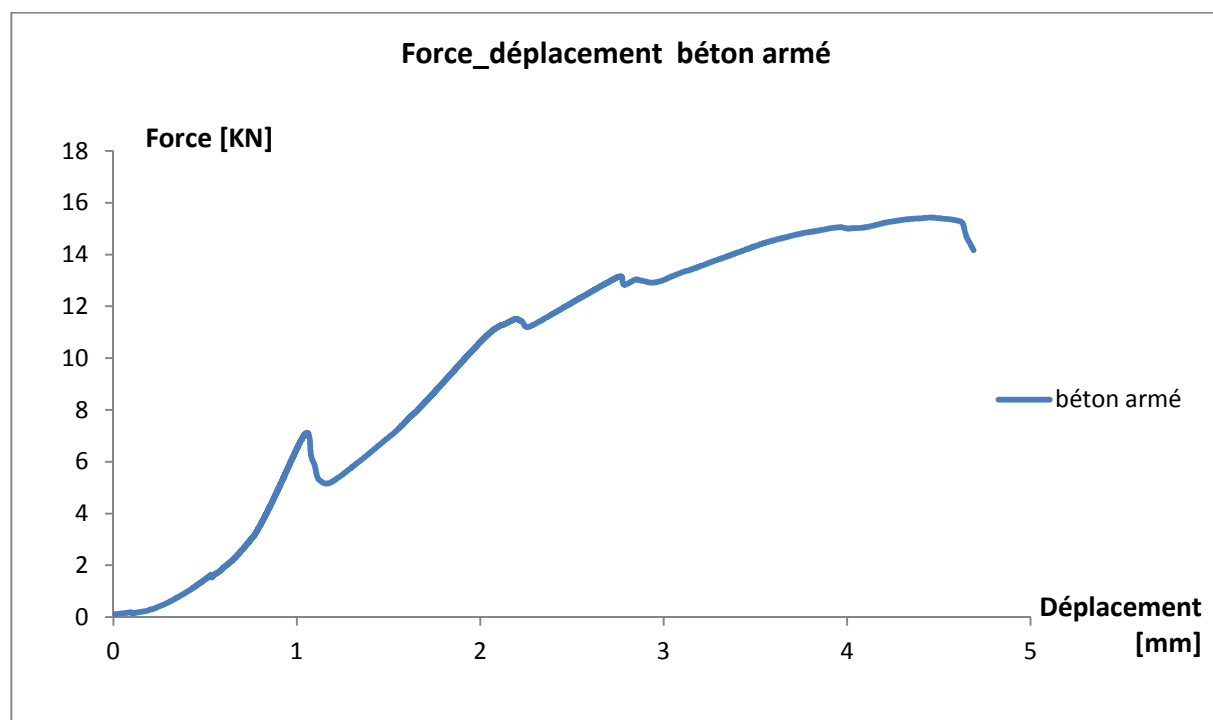
✓ Interprétation et discussions de la figure (II.36):

- On remarque que la résistance maximale atteinte pour les deux courbe est la même, est égale a **6.71 [KN]**, cela revient à l'ajout du même pourcentage de renforcement métallique dans le béton.
- On remarque aussi que l'allure des deux courbes, avec le même pourcentage de renforcement d'acier est différente, cela revient à la différence dans l'orientation des fibres.

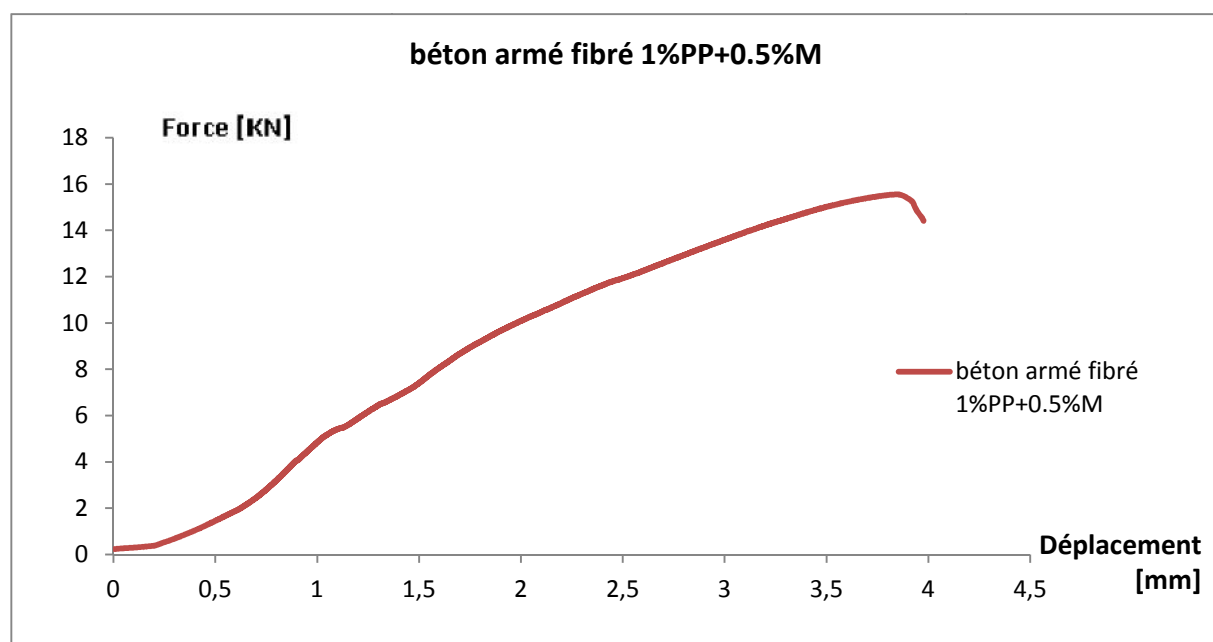
L'allure de la courbe des fibres incorporées aléatoirement au béton est continue jusqu'à la rupture, donc les fibres d'acier s'interpose à la fissure d'une manière aléatoire jusqu'à la rupture totale de la dalle.

Dans le deuxième cas, l'allure de la courbe est discontinue, des près fissurations apparaissent avant d'atteindre la résistance maximale, cela revient aux chemins de fissuration que nous avons-nous même créés, sans le vouloir, en orientant les fibres.

Les résultats des essais sur les dalles armées d'un treillis soudé, et du béton armé renforcé de fibres hybride sont représentés par les figures suivantes :



La Figure II.37: Courbe force déplacement du béton armé.



La Figure II.38: Courbe force déplacement du béton armé renforcé de fibres à 1%PP+0.5%M

### Remarque :

Pour le choix du renforcement du béton armé de fibres hybrides, nous avons choisit la combinaison **1%PP + 0.5%M**, même si cette dernière et suivant les résultats de la première série d'essais, ne donne pas les meilleurs résultats en terme de résistance, mais ce choix a été fait en fonction du treillis soudé, car il est en acier, nous avons préféré rajouté beaucoup plus du renfort polypropylènes que métalliques.

### Etude comparative :

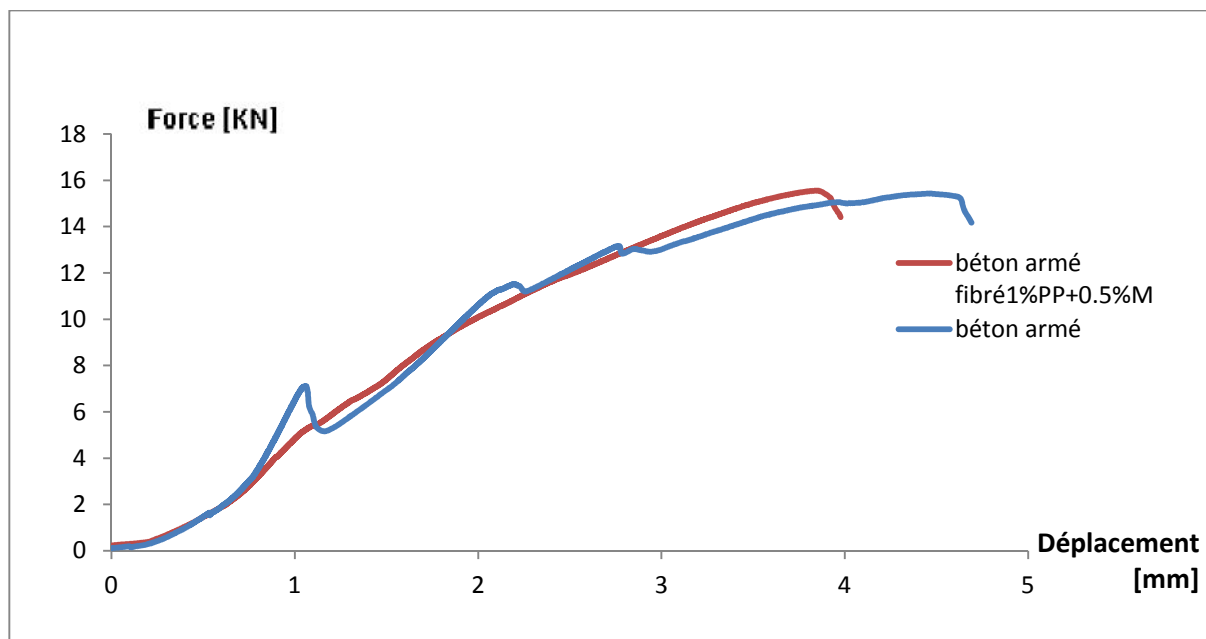


Figure II.39: Comparaison entre le béton armé et le béton armé fibrés.

### ❖ Histogramme de comparaison :

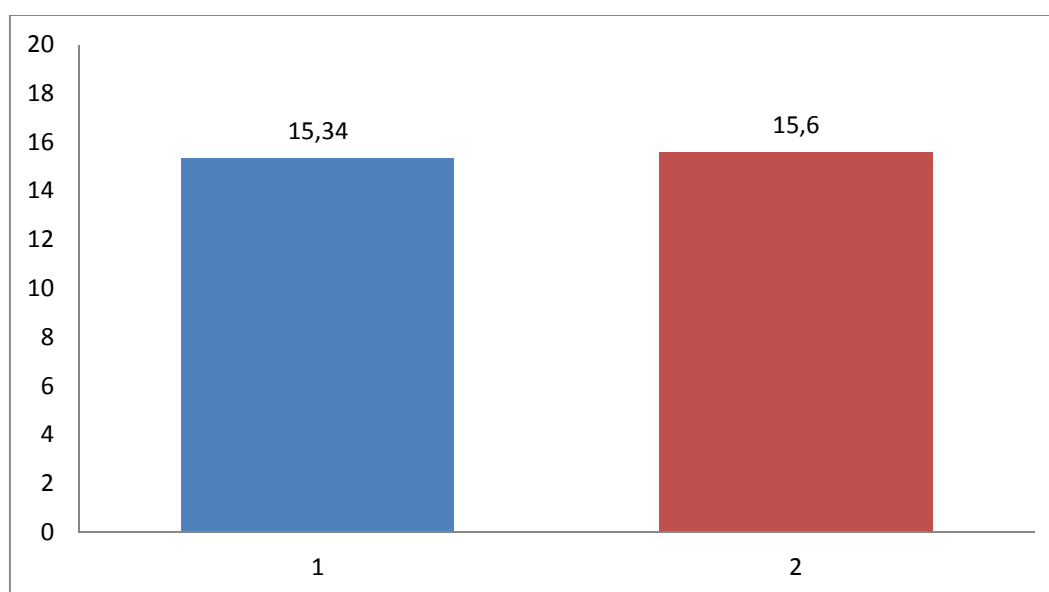


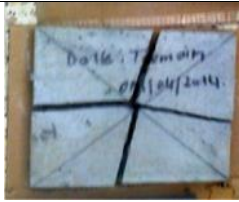



Figure II.40: Histogramme de comparaison entre le béton armé et le béton armé fibrés.

✓ Interprétation et discussions de la figure (II.39):

- La force maximale est atteinte par la courbe « Béton armé renforcé de fibres hybrides », qui est de l'ordre de **15.60 [KN]**, cela revient à la présence des fibres en plus du treillis soudé dans le béton.
- On remarque que l'allure des deux courbes est différente, une discontinuité apparaît pour la courbe «Béton armé » contrairement à celle renforcé de fibres.  
La discontinuité représente des postes fissurations qui apparaissent, puis l'effort est repris par le treillis soudé, qui est placé dans la zone tendu du béton.  
Pour la continuité de la courbe « Béton armé fibré », cela revient à la présence des fibres réparties aléatoirement dans le béton.

✚ Mode de rupture :

Tableau II.17 : mode de ruptures des dalles :

Dalles	Caractéristiques	Résistance [KN]	Mode de rupture
	Béton témoin	4.00	- Rupture totale de l'élément. - Débris éparpillés.
	1%PP+0.5%M	5.59	- Rupture dans les deux sens mais les débris restent liés.
	0.75%PP+0.75%M	5.69	-Rupture dans les deux sens mais les débris restent liés.
	1%M+0.5%PP	6.58	- Rupture dans les deux sens mais les débris restent liés.

	1.5%M	6.71	- Rupture dans les deux sens mais les débris restent liés.
	1.5%M Orientées	6.71	- Rupture dans plusieurs sens radiale mais les débris restent liés.
	1.5%PP	5.34	- Rupture dans les deux sens mais les débris restent liés.
	Béton armé	15.43	- Rupture dans plusieurs sens radiale. - Décollement du béton au centre de la dalle
	Béton armé fibré	15.60	- Rupture dans plusieurs sens radiale mais les débris restent liés.

### Commentaire :

- le mode de rupture pour les dalles renforcées de fibres hybrides aux différents pourcentages, est presque le même, car on a des fissures dans les deux sens, sans rupture totale de l'élément, cela revient à la présence des fibres, contrairement au béton témoin.

On déduit alors que les bétons renforcés de fibres ont un mode de rupture ductile, contrairement au béton qui a un mode de rupture fragile.

- Pour les fibres orientées dans le béton, le mode de rupture est différent, on a des fissures radiales dans tous les sens.

## CONCLUSION :

Les résultats des essais de compression sur les cylindres (10x20) [cm], ont démontré que l'ajout d'un certain pourcentage élevé de fibres polypropylène dans le béton, diminue sa résistance et améliore sa déformation, cela revient aux propriétés mécaniques des fibres polypropylènes.

Les essais de poinçonnement sur les dalles mince (23x28x3) [cm] ont pu être réalisés, et ont permis de suivre le comportement du matériau à travers les modes de fissurations. Les caractéristiques mécaniques mesurées et calculées sont comparées dans les tableaux précédents. Il y a une assez bonne concordance entre ces valeurs. Cette étude a montré que les fibres polypropylènes et métalliques adhèrent bien à la matrice. En effet cela est vérifié par le fait qu'au cours de la rupture de l'éprouvette, les fibres restent accrochées à la matrice. Ce résultat peut s'avérer très intéressant lors l'écroulement d'une structure armée de ce type de fibres. Les différents éléments de la structure restent liés même après rupture.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude nous nous sommes intéressés au renforcement du béton par des fibres métalliques et polypropylène. Notre attention a été portée sur le comportement mécanique du béton renforcé de fibres hybride au poinçonnement, la notion de fragilité (essentielle pour une utilisation de ce matériau) et aux modes de rupture des éprouvettes, en comparaison avec un béton témoin sans fibres. La contrainte maximale à la rupture a pu être mise en évidence.

Pour les essais de compression, les courbes obtenues présentent une partie droite dans le domaine élastique, puis ces courbes s'éloignent de cette droite. C'est ce qui représente la partie non linéaire. Le pic des courbes correspond à la résistance maximale  $f_{cj}$  et au-delà, la courbes présentent un palier de ductilité qui, dans certains cas, est décroissant jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette. Cette forme de courbe correspond bien au comportement réel du béton en compression.

On notera aussi que l'ajout d'un certain pourcentage élevé de fibres polypropylène dans le béton, diminue de sa résistance et améliore sa déformabilité, et ainsi retarde la rupture fragile de l'élément, cela revient aux propriétés mécaniques des fibres polypropylènes.

Pour les essais de poinçonnement, des dalles de dimension (23x28x3) on été réalisées au laboratoire de génie civil. Les résultats des essais effectués, montre une amélioration en terme de résistance, par l'ajout de fibres métallique, et en terme de déformabilité, par l'ajout de fibres polypropylènes, par rapport au béton témoin, il est donc préférable d'associer ces deux matériaux pour un renforcement meilleur et dans les deux sens. Le pourcentage de fibres incorporées à la masse du béton doit être pris en compte.

De plus, seule une étude plus poussée et une observation au microscope pourrait nous renseigner sur l'adhérence même de ces fibres à la matrice. Par contre, il a été constaté que les fibres retardent la microfissuration et améliore le comportement post-fissuration en servant de fil à coudre entre les différents blocs de béton. Le béton renforcé de fibres hybrides gagne en ductilité et la présence des fibres prolonge le palier de non linéarité.

Cette propriété peut s'avérer intéressante et d'utilité pratique en terme de sécurité puisque même après rupture les morceaux de béton restent rattachés les uns aux autres. C'est plus précisément dans cette voie qu'il faut orienter la suite des travaux.

# RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE :

- [1] - CIM béton, Fiches techniques, Tome II " Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre " Édition octobre 2006.
- [2]- Georges Dreux "Composition des bétons" techniques de l'ingénieur : 10 mai 1982.
- [3]- Georges Dreux et Jean Festa, " Nouveau guide du béton et de ses constituants " ; édition Eyrolles 2002.
- [4]- G. Dreux :< nouveau guide du béton>
- [5]- M<sup>me</sup> AKMOUSSI :< contribution a l'étude du comportement mécanique du béton de fibres> thèse de magister 1999.
- [6]- **STEFANO GUANDALINI** « Poinçonnement symétrique des dalles en béton armé » thèse de doctorat, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2005.
- [7] - **El Houssain ROCHDI** « contribution a l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton armé renforcées par matériaux composites » thèse de doctorat université CLAUDE BERNARD - LYON 1. 2004.
- [8]- M<sup>r</sup> Jean-Marie Berthelot : matériaux composites <comportement mécanique et analyse des structures> mai 2005.
- [9]- <cours des matériaux composites > du professeur M<sup>r</sup> K. AIT TAHAR a l'université Mouloud MAMMERI de TIZI OUZOU 2013.
- [10]- : M<sup>me</sup> MAKHLOUF <caractérisation en statistique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux> novembre 2010.

[11]- **P.K. MEHTA** (1986), " Concrete: structure, properties, and materials ", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986,450p.

[12] - **M. BRAUN & A. MAJDIC** (1980), "Reinforcing castables with stainless steel fibres" Intercera, Vol 129, pp.113-118.

[13] - **A. ADJRAD** (2000); "Renforcement du béton par des copeaux métalliques, étude expérimentale et modélisation", Thèse de magister 2000. Université Mouloud Mammeri de Tiz-Ouzou.

[14] - **A. BOUHERAOUA**, Effets des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton, étude expérimentale, Thèse de magister 2006, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[15] - **G. DREUX et J. FESTA** (1995), "Nouveau guide de béton et de ses constituants". Edition EYROLLES.7<sup>ème</sup> Edition 1995.

[16] - **L. NGUYEN-MINH<sup>1</sup>, M. ROVNÁK<sup>2</sup>, T. TRAN-QUOC<sup>3</sup>, and K. NGUYENKIM<sup>4</sup>** « contribution a l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton armé renforcées par matériaux composites »  
1.3.4 Division de la conception structurale, faculté du génie civil, HCMUT, Vietnam  
2 Institut de la sûreté technique et technologique, université de gestion de sécurité, Slovaquie  
2011 édité par Elsevier Ltd

[17] - **D.T NGUYEN, A. LIMAM, J.F GEORGIN, J.M REYNOUARD, G. MICHEL, D. DAUFFER** « Caractérisation et qualification du renforcement en TFC de dalles béton armé endommagées »  
URGC-Structures, INSA de Lyon 2001

[18] - **O. CENGIZ, L. TURANLI** « Évaluation comparative de panneaux de dalles en béton projeté renforcés de fibres variées »  
Département de génie civil de l'Université technique du Moyen-Orient, METU 06531 Ankara, Turquie Reçue le 10 mai 2001; a été accepté 19 Décembre 2003

[19] - **HASSAN MOHAMED IBRAHIM** «Résistance au cisaillement par poinçonnement des dalles armé renforcées de fibres en acier »  
Structures en béton, Département de génie civil, Faculté de génie, Université du Canal de Suez, Égypte 2010