

## Étude expérimentale du comportement mécanique d'un béton renforcé aux fibres métalliques

Ndèye Awa SENE\*, Dame KEINDE, Seyni Guèye BA et Prince Momar GUEYE

*Université Cheikh Anta Diop, Ecole Supérieure Polytechnique, Département Génie Civil, BP 5085, Dakar-Fann, Sénégal*

---

\* Correspondance, courriel : [ndsene@gmail.com](mailto:ndsene@gmail.com)

### Résumé

Le béton est un matériau relativement fragile, dont les caractéristiques en compression sont beaucoup plus importantes que celles en traction. Pour améliorer ces dernières, le béton est renforcé avec des armatures en acier. Le composite obtenu est le béton armé. Ce matériau présente cependant deux inconvénients majeurs : le matériau est hétérogène et donc garde un comportement fragile, particulièrement en traction ; sa mise en œuvre est parfois difficile à cause de la complexité du ferrailage. Il serait alors intéressant de mettre au point un matériau composite à comportement ductile en traction, d'où l'idée de remplacer les armatures par des fibres. Leur but est de conférer au béton une certaine homogénéité structurale, une bonne résistance à la traction et un bon comportement post-rupture. Ce travail porte sur la caractérisation de béton de fibre. Il étudie la possibilité d'incorporer des fibres métalliques résultant du découpage de fils métalliques en acier recuit et en fer galvanisé comme renfort pour le béton. L'étude du comportement d'un béton renforcé de fibres est réalisée à l'état frais et à l'état durci à 28 jours. L'analyse de l'influence de la teneur en fibres  $V_f$  % sur l'ouvrabilité du béton montre que l'affaissement diminue avec l'augmentation de  $V_f$  %. Ce changement est beaucoup plus marqué avec les fibres de type 1 en acier recuit qu'avec les fibres de type 2 en fer galvanisé. Les essais de caractérisation mécanique (compression et traction par fendage) révèlent que le renforcement du béton par des fibres apporte à la résistance une légère augmentation dans le cas de la compression et une augmentation significative dans le cas du fendage, en comparaison avec des bétons standard (de référence). L'utilisation des fibres métalliques choisies peut donc être favorablement envisagée.

**Mots-clés :** *béton de fibres métalliques, ouvrabilité, compression, traction par fendage.*

### Abstract

#### **Experimental study of the mechanical behavior of metal fibers reinforced concrete**

Concrete is a relatively fragile material with much greater compression characteristics than tensile strength. To improve the latter, the concrete is reinforced with steel reinforcements. The composite obtained is reinforced concrete. However, this material has two major disadvantages : the material is heterogeneous and therefore retains a fragile behavior, particularly in tension; Its implementation is sometimes difficult because of the complexity of the reinforcement. It would then be advantageous to develop a composite material with ductile behavior in tensile, hence the idea of replacing the reinforcements with fibers. Their purpose is to give

the concrete a certain structural homogeneity, a good tensile strength and a good post-rupture behavior. This work deals with the characterization of fiber concrete. It is studying the possibility of incorporating metal fibers resulting from the cutting of annealed steel and galvanized iron wires as reinforcement for concrete. The study of the behavior of a fiber-reinforced concrete is carried out in the fresh state and in the cured state at 28 days. The analysis of the influence of the fiber content  $V_f$  % on the workability of the concrete shows that the collapse decreases with the increase of  $V_f$  %. This change is much more marked with annealed steel type 1 fibers than with galvanized iron type 2 fibers. Mechanical characterization tests (compression and tensile by spilling) reveal that reinforcement of the concrete by fibers gives the resistance a slight increase in the case of compression and a significant increase in the case of splitting in comparison with standard concrete (reference). The use of the chosen metal fibers can thus be favorably envisaged.

**Keywords :** *concrete of metal fibers, workability, compression, tensile by spilling.*

## 1. Introduction

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques [1]. Il possède des caractéristiques de compression beaucoup plus importantes que celles de traction qui peuvent être améliorées en renforçant le béton avec des armatures en acier. Le composite hétérogène qui en résulte, dénommé béton armé, a un comportement fragile, particulièrement en traction et sa mise en œuvre peut être parfois compliquée du fait de la complexité du ferrailage. Des expériences [2 - 6] visant à améliorer les caractéristiques de ce dernier ont établi que l'incorporation de fibres de manière aléatoire dans le béton permet d'obtenir un matériau composite présentant une certaine homogénéité structurale, une bonne résistance à la traction et un bon comportement post-rupture. Le concept d'utilisation de fibres en tant que renforcement n'est pas nouveau. Historiquement, les poils provenant de crinière de chevaux étaient utilisés dans le mortier, de la paille dans les briques de terre crue [2] et au début du XX<sup>e</sup> siècle [3], des fibres d'amiante étaient utilisées dans le béton. Ce n'est que dans les années cinquante que le concept de matériaux composites s'est concrétisé et qu'un intérêt particulier s'est porté sur le béton renforcé aux fibres. Lorsque des risques de santé associés aux fibres d'amiantes ont été découverts, il a fallu lui trouver une substitution dans le béton et les autres matériaux de construction. Depuis le début des années soixante, des fibres d'acier, de verre et des fibres synthétiques telles que le polypropylène sont utilisées dans le béton.

Romualdie a été le premier en 1963 à introduire des fibres dans une matrice fragile pour stopper la propagation des fissures [7]. Au même moment, beaucoup de recherches sont faites sur le béton de fibres 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 peut être utilisé pour une grande variété d'applications telles que les dallages industriels, les dalles champignons [8] les routes, les pistes d'aéroport [9, 10], les murs de soutènement, les pieux [11 - 13]. Le choix du type de fibres est en fonction du domaine d'application et des performances souhaitées. Cependant, les plus utilisées sont les fibres métalliques. L'objectif de ce travail est d'analyser expérimentalement le comportement d'un béton renforcé par des fibres métalliques dans le but de déterminer ses caractéristiques mécaniques. La possibilité d'utilisation de fibres métalliques locales est étudiée. Ces fibres, découpées à partir de rouleaux de fils d'attaches en acier, sont utilisées comme renfort pour le béton. Deux types de fibres métalliques sont testées. La comparaison des performances du béton obtenu avec celles du béton conventionnel nous renseignera sur l'éventuelle possibilité d'utiliser des fibres métalliques locales comme renforts dans le béton.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Matériaux

#### 2-1-1. Composition du béton

Les matériaux retenus pour la composition du béton sont :

- du ciment de marque DANGOTE dans la classe 42.5 ;
- du sable de dune et du sable concassé (basalte concassé) d'un diamètre maximum de 3 mm ;
- des granulats, de nature concassée (basalte). Leur diamètre varie de 3 à 16.

La composition en masses retenue pour 1 m<sup>3</sup> de béton est présentée dans le **Tableau 1** :

**Tableau 1** : *Composition en masse d'un mètre cube de béton*

Constituants	Masse (Kg)
Sable	282
Basalte 0 / 3	582
Basalte 3 / 8	304
Basalte 8 / 16	619
Ciment DANGOTE 42.5	350
Eau	252.81

La formulation du **Tableau 1** sera utilisée pour déterminer la composition des échantillons de béton de fibres.

#### 2-1-2. Composition du béton de fibres

La quantité des différents matériaux varie d'une gâchée à l'autre en considérant l'incorporation des fibres. Il faut donc déterminer la masse de chacune des composantes en se basant sur la formulation préétablie d'1 m<sup>3</sup> de béton. Les fibres utilisées pour renforcer notre béton sont des fibres issues du découpage de deux types de fils métalliques, notamment de l'acier recuit tréfilé pour la FT1 et du fer galvanisé pour la FT2, disponibles localement dans des points de revente. Elles ont respectivement des sections droites circulaires de diamètres 1.5 mm et 1 mm (**Figure 1**).



**Figure 1** : *Fibres métalliques utilisées*

Ces matériaux proviennent de quelques fournisseurs de la place tels que Bernabé, METAL AFRIQUE ou encore METAL CO. Les fibres étant considérées comme de gros éléments du fait de leurs dimensions, on retirera un volume de granulats 8 / 16, de masse volumique  $2.6 \text{ g / cm}^3$ , équivalent à celui des fibres ajoutées au mélange. Ce travail nous permet de mélanger les bonnes proportions des différents composants dont les fibres métalliques qui sont découpées au préalable. Les masses volumiques des fibres à utiliser sont résumées dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 : Masse volumique des fibres**

	Fibres type 1	Fibres type 2
Masse de l'échantillon de fibres (g)	300	200
Masse du pycnomètre rempli d'eau (g)	1612	1612
Masse du pycnomètre rempli d'eau + échantillon (g)	1872	1777
Masse volumique des fibres (g / cm <sup>3</sup> )	7.50	5.71

La masse de fibres métalliques à incorporer dans  $1 \text{ m}^3$  de béton est calculée à partir de pourcentages correspondants à la quantité de granulat 8 / 16 qui sera substituée par ces dernières. Voici les différentes proportions retenues pour chaque type de fibres :

- 3 % du volume occupé par le gravier 8 / 16 correspondant à 0.7 % du mélange total ;
- 5 % du volume occupé par le gravier 8 / 16 correspondant à 1.2 % du mélange total ;
- 7 % du volume occupé par le gravier 8 / 16 correspondant à 1.7 % du mélange total.

Pour que les fibres soient capables d'entourer efficacement les granulats, il faut que leur longueur représente trois fois la dimension du plus gros granulat [3]. Étant donné que la formulation du béton inclue des granulats 8 / 16, la longueur des fibres doit être d'approximativement 50 mm. Afin d'obtenir cette longueur, nous avons eu recours à une cisaille mécanique.

## 2-2. Méthodes

### 2-2-1. Réalisation du mélange à la bétonnière

Le mélange se fait au laboratoire en suivant des étapes précises afin d'assurer l'homogénéité du béton. Pour ce faire, la bétonnière est humidifiée dans un premier temps afin d'éviter l'absorption de l'eau de gâchage par les parois de la machine ; ensuite les constituants sont introduits dans l'ordre suivant : gros éléments (gravier 8 / 16, gravier 3 / 8 et fibres), liant (ciment), sable (gravier 0 / 3, sable de dunes). Au moment de leur incorporation, les fibres doivent être bien réparties pour éviter la formation de « pelotes ». Après une minute de mélange à sec l'eau de gâché est introduite puis le mélange est poursuivi pendant environs deux minutes.

### 2-2-2. Confection des éprouvettes

La procédure de remplissage des éprouvettes se fait le plus vite possible pour conserver une bonne ouvrabilité et se déroule comme suit :

- humidification du moule à l'aide d'une matière grasse pour faciliter le démoulage ;
- remplir en trois couches de même hauteur le moule au moyen d'une tige de picage ; actionnée vingt-cinq fois par couche. Cette mise en place doit permettre le serrage à refus du béton ;
- araser le bord supérieur du moule en roulant la tige de picage.

L'utilisation d'une aiguille vibrante à cette étape risque de modifier le placement aléatoire des fibres et ainsi diminuer la résistance à certains endroits du composite. Cependant le compactage reste nécessaire pour éliminer les porosités également susceptibles de réduire sa résistance (**Figure 2**).



**Figure 2** : Béton de fibres poreux suite à un mauvais compactage

Les éprouvettes sont conservées à l'abri des chocs et des vibrations pendant un minimum de seize heures et un maximum de trois jours à une température de  $25 \pm 5$  °C dans, sans craindre l'évaporation car les moules sont munis d'un dispositif s'opposant à ce phénomène. Après démoulage, les éprouvettes doivent être conservées dans l'eau à une température de  $20 \pm 2$  °C ou dans une pièce où l'hygrométrie relative est supérieure à 95 % d'après l'EN 12390-2. Les éprouvettes ont été sorties des moules 24 heures après le remplissage et placées directement dans un bassin présentant les conditions énumérées ci-dessus et duquel elles ne sortent qu'au moment de réaliser les essais au 3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> ou 28<sup>ème</sup> jour.

### **2-2-3. Caractérisation physique et mécanique du béton de fibre**

#### **2-2-3-1. L'essai de consistance**

L'ouvrabilité (ou la maniabilité) du béton est définie par la facilité que ce dernier a à remplir un coffrage. Elle dépend des proportions des différents composants de la matrice, du type et de la dimension des fibres. Avant de s'intéresser aux caractéristiques mécaniques du BRF, il est intéressant de le caractériser du point de vue de sa maniabilité. Nous nous intéressons donc à la mesure de l'ouvrabilité du béton armé de fibres métalliques et à l'étude de leur influence. À cet effet nous avons utilisé la méthode à base d'écoulement statique du cône d'Abrams. La vérification de la maniabilité se fait juste avant de confectionner les éprouvettes. Un échantillon provenant de chaque gâchée est utilisé pour mesurer l'affaissement.

#### **2-2-3-2. L'essai de compression**

L'essai de compression simple permet d'étudier le comportement en compression simple du béton renforcé par les fibres. Il consiste à écraser une éprouvette cylindrique à l'aide d'une presse (**Figure 2**) et d'en mesurer la résistance à la compression simple. Les trois teneurs en fibres retenues ( $V_f = 0.7$  %,  $V_f = 1.2$  % et  $V_f = 1.7$  % avec  $V_f$ , fraction volumique de fibres dans le mélange) sont incorporées dans une matrice en béton. Un béton témoin de même composition ne contenant pas de fibres servira de référence.



**Figure 3 :** Presse de compression

### *2-2-3-3. L'essai de traction par fendage*

L'essai de traction par fendage aussi appelé essai brésilien, est un essai destiné à la détermination de la résistance à la traction du béton. Comme l'essai de compression, cette méthode consiste à écraser une éprouvette cylindrique mais cette fois-ci dans le sens transversal (**Figure 4**) et d'en déterminer la contrainte de rupture. Cet essai sera effectué pour les trois teneurs en fibres retenues ( $V_f = 0.7 \%$ ,  $V_f = 1.2 \%$  et  $V_f = 1.7 \%$ ) ainsi que pour le béton témoin, ne contenant aucune fibre, dans le but de les comparer.



**Figure 4 :** Epreuve cylindrique placée dans le sens transversal

## **3. Résultats et discussion**

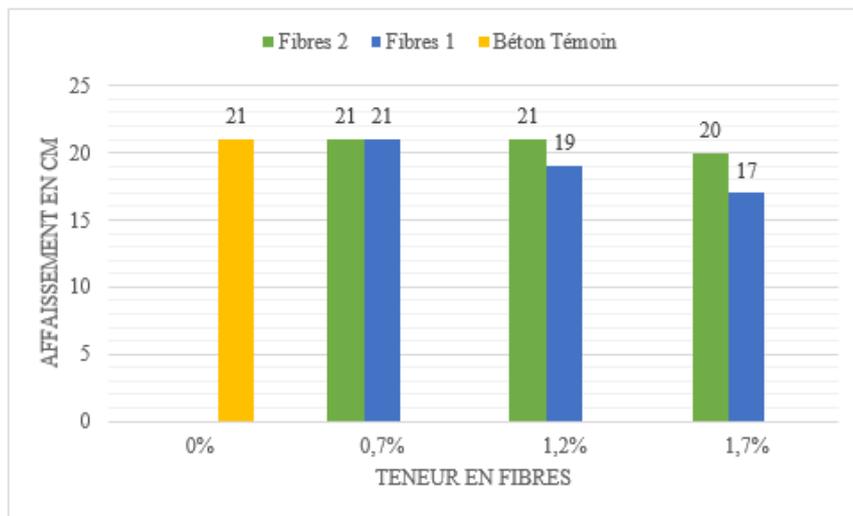
### **3-1. Caractérisation par l'essai de consistance**

Les valeurs de l'affaissement du béton pour chaque teneur en fibres sont regroupées dans le **Tableau** ci-dessous :

**Tableau 3 : Composition du BRFM - 1.7 % de FT2**

	B.T.	Fibres type 1			Fibres type 2		
Teneur en fibres $V_f$ %	0	0.7	1.2	1.7	0.7	1.2	1.7
Affaissement (cm)	21	21	19	17	21	21	20

Les résultats de l'essai de consistance sont représentés sur le graphique de la **Figure 5** montrant l'évolution de l'affaissement en fonction de la teneur en fibres du béton. Nous constatons que le béton obtenu est un béton fluide avec un affaissement compris entre 17 et 21 cm, et ce pour toutes les proportions de fibres. Il appartient donc à la classe S4.



**Figure 5 : Évolution de l'affaissement en fonction de la teneur en fibres**

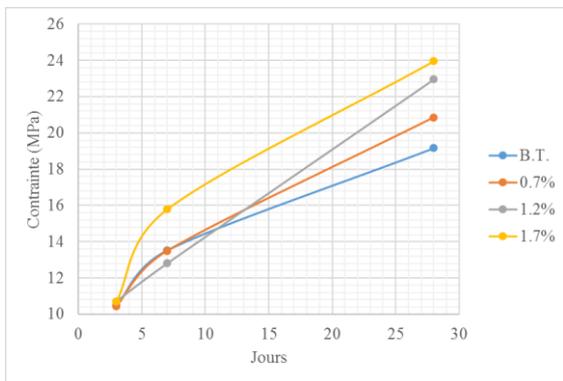
Notons que l'affaissement a tendance à diminuer lorsque la proportion de fibres est plus importante, ce que nous pouvons expliquer par le fait que les fibres se comportent comme de gros éléments à cause de leur forme et de leurs dimensions. Cette augmentation du volume des gros éléments (gravier + fibres) suite à l'incorporation des fibres en quantités plus importantes entraîne donc une diminution de l'ouvrabilité du béton. Il faut également noter qu'il est difficile d'observer des affaissements significatifs avec ce béton renforcé aux fibres métalliques même s'ils sont plus visibles avec les fibres de type 1. Celles-ci ayant une masse volumique ( $7.5 \text{ g / cm}^3$ ) plus élevée que celle des fibres de type 2 ( $5.7 \text{ g / cm}^3$ ), elles sont introduites en quantités plus importantes dans le béton ce qui réduit davantage sa maniabilité. La formulation retenue fournit un béton témoin fluide de classe S4 généralement utilisé dans des applications telles que des dalles, des voiles, des fondations mais il est aussi adapté pour du BRF car il conserve une bonne ouvrabilité suite à l'incorporation des fibres. Du fait de l'influence de l'incorporation de ces dernières sur l'ouvrabilité du béton, il convient de prendre une précaution sur la limitation du pourcentage de fibres incorporées lors de la mise en œuvre de ce matériau. Compte tenu des problèmes liés à cette étape, le pourcentage de fibres incorporées est limité car nous pouvons par exemple observer la formation de pelotes qui engendrent une porosité au sein de la matrice. Les affaissements obtenus suite à l'essai de consistance avec le cône d'Abrams sont peu significatifs, ce qui rend imprécise la détermination exacte des limites appropriées des proportions de fibres. Il serait donc intéressant d'utiliser d'autres moyens comme la méthode expérimentale d'optimisation développée par le laboratoire central des ponts et chaussées (L.C.P.C.), basée sur la méthode de Baron Lesage [4]. Cette méthode corrige les inconvénients de la méthode du cône d'Abrams qui sont :

- la difficulté d'observation des affaissements significatifs qui rend imprécise les mesures d'ouvrabilité en fonction des proportions de fibres ;
- la petite quantité de béton testé qui nous paraît insuffisante pour être représentative du comportement du béton.

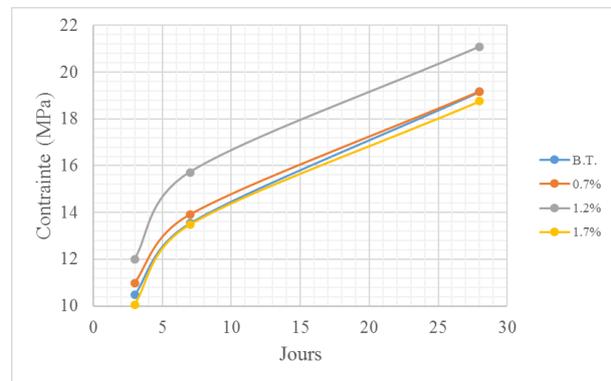
Notons cependant que cette méthode nécessite un appareillage spécifique.

### 3-2. Caractérisation par l'essai de compression

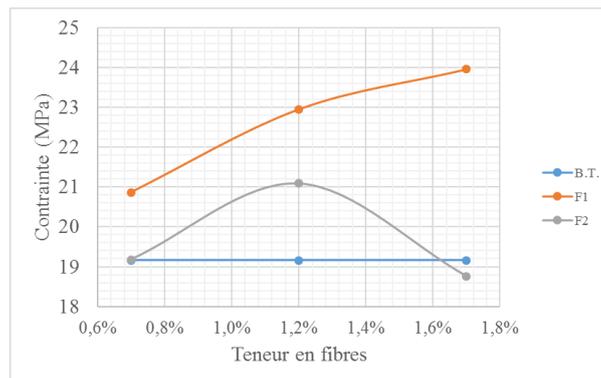
Les résultats fournis par l'essai de compression sont représentés sur les **Figures 6, 7 et 8**. Les courbes tracées sur ces figures représentent l'évolution des contraintes de compression à 3, 7 et 28 jours pour chaque type de fibres. Les données utilisées pour tracer les courbes de compression correspondent à la moyenne arithmétique des résultats des trois essais pour chaque fraction volumique de fibres.



**Figure 6 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression pour les fibres FT1 en fonction du temps*



**Figure 7 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression des fibres FT2 en fonction du temps*



**Figure 8 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression en fonction de la teneur en fibres FT1 et FT2*

Pour les fibres de type 1, les résultats montrent que la résistance du béton varie en fonction du pourcentage de fibres incorporées au mélange. En effet, en comparant avec le béton témoin, la résistance augmente comme suit au 28<sup>ème</sup> jour : une augmentation de

- 9 % avec un ajout de 0.7 % de fibres ;
- 20 % avec un ajout de 1.2 % de fibres ;
- 25 % avec un ajout de 1.7 % de fibres.

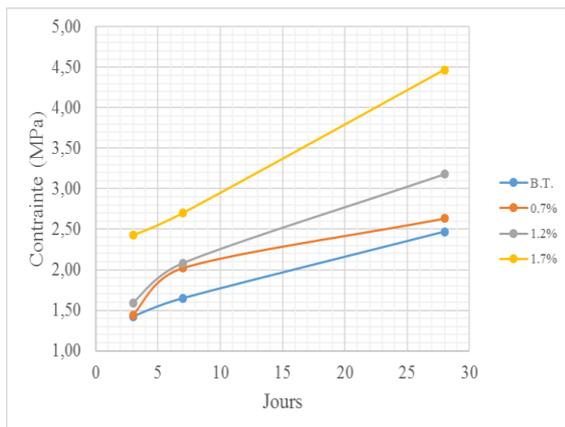
Pour les fibres de type 2, une comparaison au 28<sup>ème</sup> jour avec le béton témoin donne les résultats suivant :

- une résistance environs égale à celle du béton témoin lorsqu'on ajoute 0.7 % de fibres ;
- une augmentation de 10 % lorsqu'on ajoute 1.2 % de fibres ;
- une diminution de 2 % lorsqu'on ajoute 1.7 % de fibres.

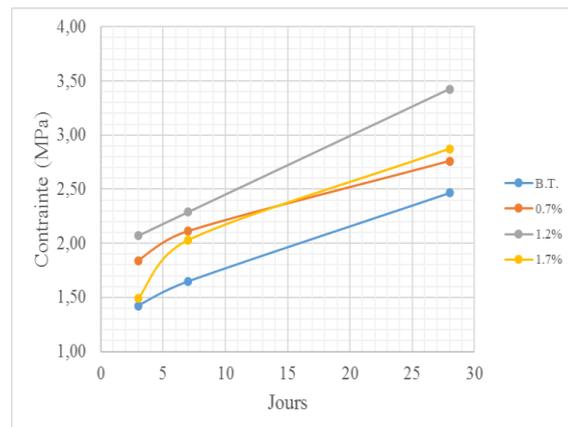
Nous remarquons dans un premier temps que l'ajout de fibres métalliques entraîne une augmentation de la résistance, plus importante pour les fibres de type 1 que pour les fibres de type 2. En effet dans le deuxième cas nous notons même une diminution de 2 % de la résistance lorsque nous incorporons 1.7 % de fibres au béton. Cette diminution n'est pas significative mais nous pouvons tout de même considérer que l'ajout de fibres au-delà d'une certaine limite, ici comprise entre 1.2 et 1.7 % pour les fibres de type 2, entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques du béton. Ceci peut s'expliquer par la diminution de la compacité du matériau suite à la présence de cavités engendrées par la forme des fibres déformées qui entourent plus difficilement le reste des gros éléments, surtout pour de grandes teneurs en fibres ( $V_f = 1.7\%$ ). Les fibres de type 2 en fer galvanisé étant moins rigides que les fibres de type 1 en acier recuit, du fait de leurs diamètres et de leurs caractéristiques mécaniques, elles ont tendance à se déformer plus facilement et confèrent moins de résistance au béton d'où les meilleurs résultats obtenus dans le premier cas. Au vu de ces observations, nous pouvons dire que le béton à 1.7 % de fibres de type 1 est le plus avantageux vis-à-vis du comportement en compression. L'ajout de fibres en quantité limitée apporte une légère augmentation de la résistance du béton. Par contre, avec l'augmentation du volume de fibres cette caractéristique mécanique a tendance à diminuer, particulièrement dans le cas des fibres de type 2 en fer galvanisé. Les fibres de type 1 en acier recuit fournissent de meilleurs résultats du fait de leur rigidité supérieure.

### 3-3. Caractérisation par l'essai de traction par fendage

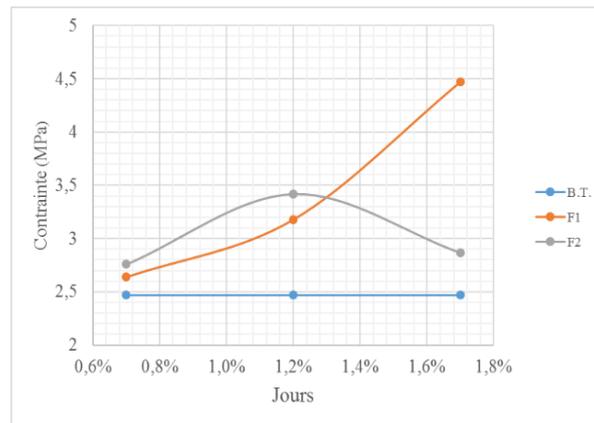
Les **Figures 9, 10 et 11** résument les résultats obtenus avec l'essai de traction par fendage. Les courbes tracées sur ces figures représentent l'évolution des contraintes de traction par fendage à 3, 7 et 28 jours pour chaque type de fibres. Les données utilisées pour tracer les courbes de traction correspondent également à la moyenne arithmétique des résultats des trois essais pour chaque fraction volumique de fibres.



**Figure 9 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression pour les fibres FT1 en fonction du temps*



**Figure 10 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression des fibres FT2 en fonction du temps*



**Figure 11 :** *Évolution de la contrainte maximale en compression en fonction de la teneur en fibres FT1 et FT2*

Pour les fibres de type 1, nous remarquons que la résistance du béton varie en fonction du pourcentage de fibres incorporées au mélange. En effet, en comparant avec le béton témoin, la résistance évolue comme suit au 28<sup>ème</sup> jour : une augmentation de

- 29 % avec un ajout de 0.7 % de fibres ;
- 7 % avec un ajout de 1.2 % de fibres ;
- 81 % avec un ajout de 1.7 % de fibres.

Et pour les fibres de type 2, les observations faites en comparaison avec le béton témoin à 28 jours sont les suivantes : une augmentation de :

- 12 % avec un ajout de 0.7 % de fibres ;
- 39 % avec un ajout de 1.2 % de fibres ;
- 17 % avec un ajout de 1.7 % de fibres.

L'essai de traction par fendage montre clairement que l'incorporation de fibres métalliques influe directement sur la résistance en traction du béton. En effet une augmentation importante de cette caractéristique mécanique est observée et cela pour chaque type et pour chaque proportion de fibres testée. Il faut cependant noter que la fibre de type 1 donne de meilleurs résultats que la fibre de type 2 à 28 jours et que ces résultats sont obtenus pour une proportion de 1.7 % du volume de béton soit une augmentation de 81 % de la résistance en traction par fendage. Dans le cas de la fibre de type 2, tout comme pour l'essai de compression, les meilleurs résultats sont obtenus avec une teneur en fibre de 1.2 %, soit une augmentation d'environ 40 % de la résistance en traction par fendage, qui est supérieure à celle de la fibre 1 pour une même teneur en fibres. La fibre de type 2 étant moins rigide que la fibre de type 1, elle se déforme pendant le mélange, entourant difficilement les gros éléments et créant des pelotes de fibres. Ce phénomène limite la répartition aléatoire des fibres, diminuant ainsi leur capacité à retenir les fissures et la résistance du béton. Ce problème ne se pose que lorsqu'on introduit une quantité importante de fibres (au-delà de 1.2 %). Il serait donc intéressant de limiter la teneur en fibres à un pourcentage compris entre 1.2 et 1.7 % pour obtenir les meilleures caractéristiques dans le cas des fibres de type 2. L'incorporation de fibres confère au béton une amélioration significative de la résistance en traction d'après l'essai de fendage. La quantité de fibres incorporée a également une influence sur cette caractéristique. En effet, dans le cas de la fibre de type 2 en fer galvanisé, nous obtenons de meilleurs résultats pour une teneur en fibres de 1.2 % plutôt que pour 1.7 % de fibres incorporées. Pour la fibre de type 1 en acier recuit, nous observons de meilleurs résultats,

qui sont obtenus pour une teneur en fibres de 1.7 %. Les dimensions, les caractéristiques et la proportion de fibres influent donc sur la résistance du composite. Il serait donc intéressant de faire des études plus poussées avec un matériel spécifique afin de déterminer les limites à ne pas dépasser. Les résultats des essais mécaniques montrent que l'ajout des fibres augmentent la résistance du béton. Ceci a un impact sur l'utilisation des aciers en béton armé. Il permet de réduire la quantité d'armatures à utiliser pour une structure en béton armé classique.

#### 4. Conclusion

L'objectif de ce travail est de montrer que les fibres métalliques résultant du découpage de fils d'acier et de fer peuvent être utilisées pour renforcer le béton. Nous nous sommes donc intéressés au comportement du béton fibré frais lors de sa mise en œuvre et à son comportement mécanique au jeune âge. L'évaluation de l'ouvrabilité à l'aide du cône d'Abrams montre que la teneur en fibres influe sur la maniabilité du BRF lors de sa mise en œuvre. En effet les résultats montrent que plus on augmente le pourcentage de fibres dans le béton et moins l'affaissement est important. La comparaison des caractéristiques mécaniques (compression et traction par fendage) du béton armé de fibres avec celles du béton de référence montre que les fibres confèrent au béton témoin une augmentation de résistance non négligeable. Avec une augmentation significative de la résistance, l'utilisation de fibres découpées à partir de fils métalliques comme renfort pour le béton devient intéressant. Les objectifs assignés à cette étude nous semblent atteints. Cependant, il serait intéressant d'étendre l'étude aux caractéristiques des fibres et également au comportement du composite d'un point de vue de la déformation ou encore d'un point de vue thermique.

#### Références

- [1] - G.11 les bétons : formulations, fabrication et mise en œuvre, collection technique CIMBETON, Tome 2
- [2] - A. E. NAAMAN, "Fibre Reinforcement for Concrete" *Concrete International Journal*, 21 - 25 (March 1985)
- [3] - H. P. BEHBALANI, B. NEMATOLLAHI, M. FARASATPOUR, "Steel fiber reinforced concrete: a review" *Proceedings of the International Conference on Structural Engineering Construction and Management*, (2011)
- [4] - G. BERNIER, "Composition, rhéologie, mise en œuvre et composition du béton de fibres métalliques" *C.R. journées ENS CACHAN MRES*, (22-25 nov. 1988)
- [5] - P. ROSSI, "Le développement industriel des bétons de fibres métalliques - Conclusions et recommandations", *Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées*, (2002)
- [6] - G. CHANVILLARD G., "Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées ancrées dans une matrice cimentaire ", *Etudes de recherches au laboratoire des ponts et chaussées, série ouvrage d'art OA12*, (1993)
- [7] - J. P. ROMUALDI, G. B. BASTON "Mechanics of crack arrest in concrete" *Journal of Engineering Mechanics Division*, Vol. 89, EM3, Juin (1963) 147 - 168 p.
- [8] - X. DESTRÉE, TWINCONE, "SFRC Structural concrete", *FRC-95, Modern developments, (Eds), Toronto*, 26 - 29 mars (1995) 77 - 86 p.
- [9] - G. WU, M. JONES, "Navy experience with steel fiber reinforced concrete airefield pavement, fiber reinforced Concrete" *Properties and Applications, ACI SP-105*, (1987) 403 - 418 p.
- [10] - J. L. GRANJU, F. GRANDHAIE, "Thin repairs with metallic glass fibre reinforced concrete : length changes during the first 24 hours, Fibre reinforced Cement and Concrete ", *proceedings du 4<sup>e</sup> Symposium International de la RILEM, Sheffield*, (1992) 676 - 689 p.

- [11] - S. LAMOTTE, "Cahier des charges du procédé SOLFIBRES", AGR2MENT DU BUREAU DE Contrôle Socotec, (1998) 3 p.
- [12] - P. BERTHELOT, F. BUYLE-BODIN, X. DESTREE, S. LAMOTTE, C. PACIOREK, R. SOULOUMIAC, "Pieux solfibres en béton renforcé de fibres métalliques- Aptitude de l'emploi en Zones sismiques", Annales de l'ITBTP, N° 521, série 248, (1994) 4 - 23 p.
- [13] - M. VINCENT, "développement de bétons renforcés de fibres pour des fondations profondes", Thèse de doctorat de l'école Nationale Supérieure des mines de Paris, (1990)