



Journal of Materials and Engineering Structures

Influence de l'embuvage et de l'élanement des fibres sur les propriétés des mortiers destinés aux bétons de fibres

Influence of the shrinkage and the slenderness of fibers on the properties of the mortars destined for the concretes fiber

Mesboua Nouredine^{a*}, *Benyounes Khaled*^b, *Aribi Chouaib*^a, *Meziani Ramzi*^a, *Benmounah Abdelbaki*^a

^a *Unité de recherche Matériaux, Procédés et Environnement, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, Algérie*

^b *Laboratoire Génie physique des Hydrocarbures, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, Algérie*

ARTICLE INFO

Historique de l'article

Recu : 10 mars 2015

Révisé : 7 juillet 2015

Accépté : 7 septembre 2015

Mots clés:

mortier

fibre métallique

Élanement

Embuvage

Keywords :

Mortar

Metal fiber

Twinge

Embuvage

RESUME

Cette recherche qui s'est orientée vers l'incorporation des fibres métalliques dans le mortier a pour but de connaître le comportement du béton à l'état frais d'une part, et d'améliorer les propriétés mécaniques à l'état durci d'autre part, après renforcement par des quantités variées de ces fibres. Le travail effectué consiste en la réalisation de plusieurs séries d'éprouvettes, en faisant varier la teneur, l'élanement (L/D) des fibres et le rapport (E/C) fixe de 0.5. Des essais de flexion et compression ont été effectués sur ces éprouvettes, les essais de flexion ont permis de suivre le comportement de ce matériau, au delà de la fissuration le palier de ductilité est mis en évidence sur les courbes obtenues. Les résultats obtenus montrent bien que les fibres métalliques peuvent être utilisées dans le mortier comme renfort avec toute fiabilité et sécurité surtout dans les domaines où des sollicitations excessives peuvent exister.

ABSTRACT

The purpose of this research which was directed towards the incorporation of metal fiber in the mortar is to know the behavior of the concrete in a fresh state on the one hand, and to improve the mechanical properties in a state hardened on the other hand, after reinforcement by varied quantities of these fibers. Carried out work consists of the realization of several series of specimens, while varying the content, the twinge (L/D) of fiber and the report/ratio (E/C) fixes of 0.5. Bending tests and compression were carried out on these specimens, the bending tests made it possible to follow the behavior of this material beyond cracking the stage of ductility is highlighted on the curves obtained. The results obtained show well that the metal fibers can be used in the mortar like reinforcement with any reliability and safety especially in the fields where excessive requests can exist.

* *Corresponding author. Tel.: +213 792594244.*

E-mail address: mesbouhnour@hotmail.fr

1 INTRODUCTION

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions nouvelles, il peut être moulé dans les formes les plus diverses, il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique et il est faiblement toxique. Cependant, le béton non armé reste un matériau fragile sous l'effet d'efforts excessifs, car la rupture se produit brutalement, sans avertissement, par fissuration préalable et sans déformation importante. Pour éviter ce phénomène de rupture, pallier à sa faible résistance en traction et contenir une macro-fissuration stable dans les zones tendues, le béton doit être renforcé dans la plupart des cas par des armatures. Cette étape a permis d'abord, de contribuer au développement des applications structurales du béton, en assurant une bonne sécurité. Donc, l'introduction des barres d'acier a pour but de contrôler la macro-fissuration. Ensuite, et afin de minimiser les fissurations le monde de la construction a conçu le béton précontraint. Puis, il y a une trentaine d'années environ, se sont développés des applications industrielles où un renforcement discontinu a été réalisé à l'aide de fibres incorporées dans le béton. Ceci est connu dans le milieu des chercheurs et des constructeurs, par le béton de fibres.

Le béton fibré est un matériau composite certes (mélange de ciment, granulats, eau et fibres), mais qui doit être considéré comme Homogène (fibres correctement réparties avec orientations aléatoires), à la différence du béton armé traditionnel dans lequel le positionnement des armatures est défini en fonction des efforts appliqués. Par conséquent, le concept de renforcement du béton par des fibres discontinues dispersées de façon aléatoire dans le volume, est un dérivé du concept de l'utilisation de fibres pour améliorer le comportement des matériaux fragiles, connu depuis longtemps.

Dans ce cadre là, nous nous proposons de mettre en évidence la corrélation entre les propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des mortiers renforcés de fibres métalliques locales et leurs caractéristiques qui sont : l'ondulation, l'élanement $\frac{L}{D}$ et la teneur.

2 Étude et caractérisation des éléments constituants

2.1 Sable

Le sable que nous avons utilisé pour notre mortier provient de Oued Souf de 0/3mm dont les caractéristiques physiques sont données au Tableau 1.

Tableau 1. caractéristiques physique du sable de Oued Souf

Masse volumique absolue (g/cm^3)	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Module de finesse M_f	Coef de friabilité (%)	Equivalent de sable ES	bleu de méthylène
2.65	1.47	2.13	11.2	63.96	< 1

2.2 Ciment

Le ciment utilisé pour la préparation du mortier est le ciment CPJ 32,5 dont la densité absolue est de l'ordre de 3.06g/cm^3 et de surface spécifique est $4756\text{ cm}^2/\text{g}$.

2.3 L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage, est l'eau de robinet de provenance de Hussein-Dey à Alger.

2.4 L'adjuvant

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faible quantité (inférieure à 5 %). Ils améliorent les propriétés physico-mécaniques des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés.

Au cours de la préparation du mortier, on a incorporé un superplastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération dit «Sika viscocrete tempo 12 », conforme à la norme NF EN 934-2, fabriqué par sika, Il est conçu à base de copolymère acrylique et améliore considérablement les propriétés des mortiers et bétons.

La fiche technique de ce produit fournie par le fabricant, donne les caractéristiques générales suivantes :

- Forme Liquide
- Couleur brun clair
- pH 6 ± 1
- Densité $1,06 \pm 0,01$
- Teneur en chlore $\leq 0,1 \%$
- Teneur en Na₂O Eq $\leq 1 \%$
- Extrait sec..... $30,2 \pm 1,3 \%$

La fourchette de dosage recommandée est de 0,2 à 3,0 % du poids de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de ciment et des effets recherchés.

2.5 Les fibres

Les fibres utilisées sont de type métallique sous forme géométrique ondulée, leur caractérisation a été effectuée au niveau de l'Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement de l' Université de Boumerdès, UR-MPE.

2.6 Caractéristiques des fibres

Les caractéristiques des fibres après caractérisation sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques des fibres.

Type	Ondulée			
Diamètre (mm)	0.32			
Longueur (mm)	13	20	26	
Élancement	40	60	80	
Embuvage (%)	0.5			
Elasticité (GPa)	21			
Teneur (%)	0.25	0.5	1	1.5

3 Confection des éprouvettes

Le mortier est préparé selon la modalité de la norme NF P15-403.

Cette norme fait l'objet d'une caractérisation mécanique à la flexion et à la compression simple à 28 jours sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16, suivant ce protocole, nous avons confectonné 42 éprouvettes avec différents pourcentages de fibres : 0,25 ; 0,5 ; 1 et 1,5% et élancement .

N B : La quantité des fibres est incorporées par apport au volume

Tableau 3. Notation de quelque exemples des différentes formulations.

DESIGNATION	TENEUR EN FIBRES (%)	NOTATION
1/ mortier témoin.	---	M
2/mortier renforcé (élancement 40)	0.25	M40-1
	0.50	M40-2
	1.00	M40-3
	1.50	M40-4

4 Caractérisation de mortier à l'état frais

Au cours de la préparation des mélanges, on a incorporé les fibres avec différents élancements et teneurs

4.1 Les essais rhéologiques

4.1.1 Courbe de viscosité

Le point de saturation du superplastifiant est déterminé par le viscosimètre (UR-MPE de Boumerdès). On fait varier le dosage de superplastifiant jusqu'à ce que le coulis ait un comportement presque newtonien, c'est-à-dire à une viscosité plastique constante en fonction du gradient de vitesse.

La détermination du point de saturation de notre ciment (ACC) en superplastifiant (SIKA TEMPO 12), est réalisée à l'aide du viscosimètre VT550 qui est représenté sur la figure suivante :

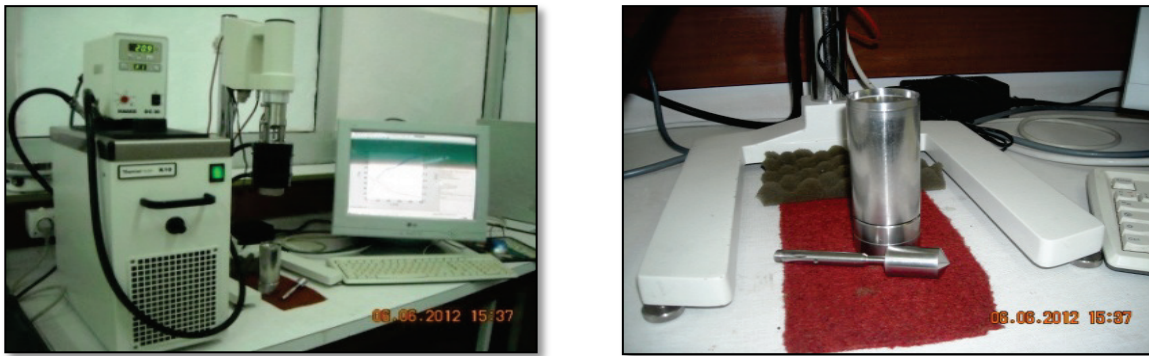


Figure 1 : Viscosimètre VT550.

Les résultats évolution de la viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement sont représentés sur la courbe suivante :

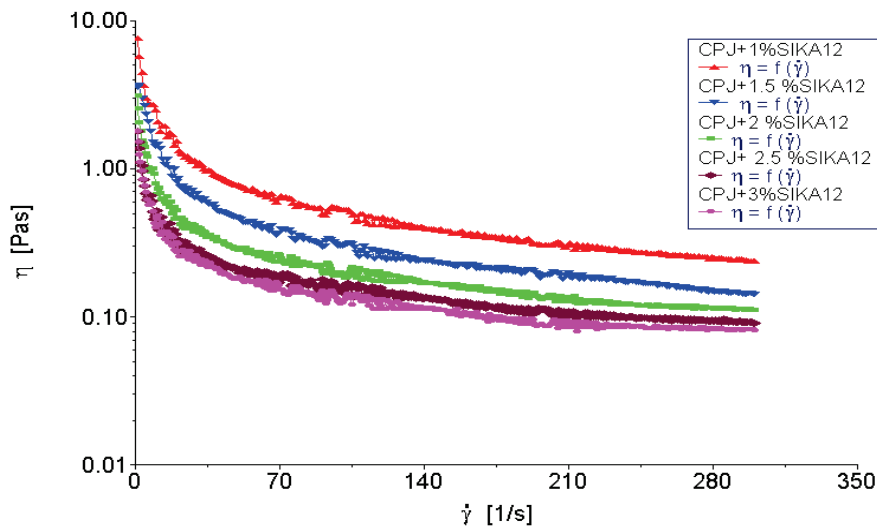


Figure 2 : Evolution de la viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement.

4.1.2 Courbe d'écoulement

Les résultats d'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement sont représentés sur la figure 3.

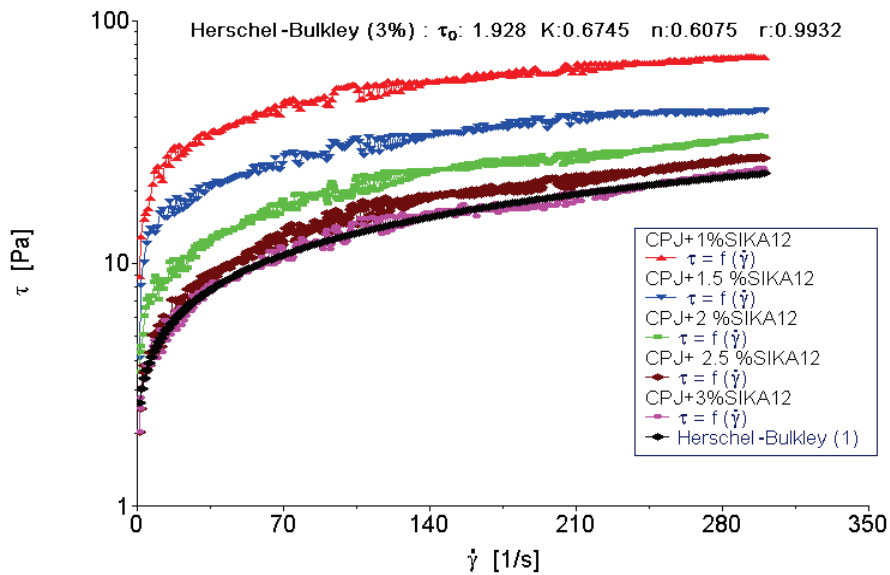


Figure 3 : Evolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement.

D’après les courbes précédentes on trouve que le dosage en superplastifiant sika tempo 12 est de 3%, voir figures 2 et 3. Après avoir testé le ciment CPJ (ACC) avec différentes proportions de superplastifiant, on remarque que le sika tempo12 influe sensiblement sur la viscosité de la pâte cimentaire, et plus que son pourcentage augmente plus la viscosité et la contrainte de cisaillement de la pâte cimentaire diminuent ;

Cela peut être expliqué par l’effet dispersant du sika tempo 12 qui est un copolymère utilisé pour provoquer une répulsion stérique entre les particules du ciment, en réduisant leur agglomération, et cela grâce à la longueur de la chaîne principale ainsi que son greffage par des chaînes latérales non adsorbants et qui se prolongent dans la solution lorsque les polymères s’adsorbent. Plus le pourcentage de sika tempo 12 augmente, plus l’écoulement de la pâte cimentaire se rapproche de l’écoulement newtonien, jusqu’au point de saturation. Au delà duquel le superplastifiant n’influe plus sur l’écoulement. Le point de saturation varie d’un ciment à un autre, cette variation est due à la capacité d’adsorption du superplastifiant par les minéraux et les hydrates des ciments.

4.2 La masse volumique

Nous présentons l’essai sur la masse volumique à l’état frais d’un mortier à différents teneurs en illustrant les résultats dans le tableau 4.

Tableau 4 : Masse volumique du mortier renforcé pour des différents teneurs de fibres.

Teneur en fibres (%)	M _V (g/ cm ³)	Teneur en fibres (%)	M _V (g/ cm ³)
M	1.87	-	-
M40-1	1.88	M60-3	1.92
M40-2	1.90	M60-4	1.93
M40-3	1.91	M80-1	1.94
M40-4	1.92	M80-2	1.95
M60-1	1.89	M80-3	1.97
M60-2	1.91	M80-4	1.98

Afin d’expliquer les résultats obtenus, l’histogramme suivant présente l’amélioration par apport au témoin en pourcentage

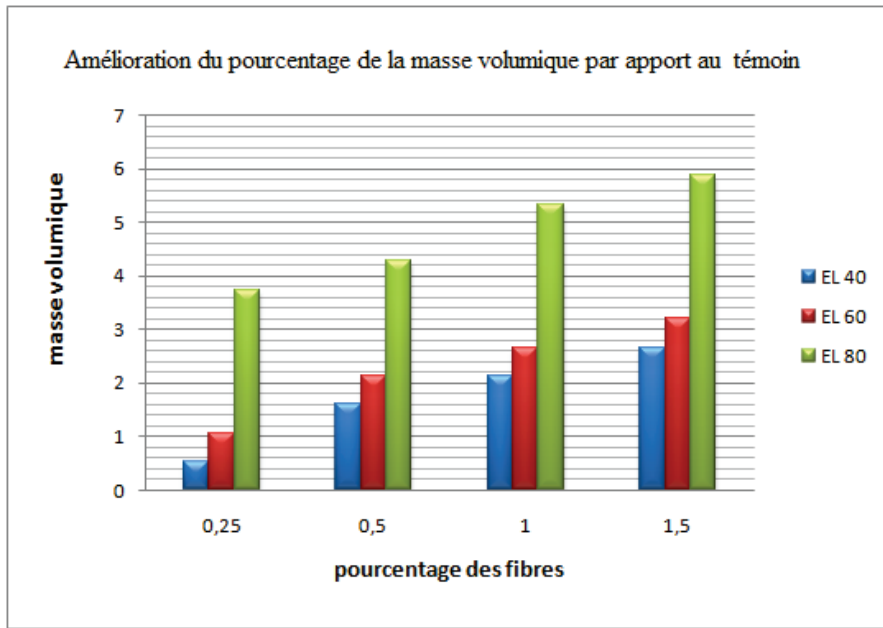


Figure 4 : Amélioration du pourcentage de la masse volumique par apport au mortier témoin.

4.3 L'étalement

L'essai au mini cône a pour but de mesurer le diamètre d'étalement d'un certain volume de mortier placé dans ce dernier sur une plaque en Plexiglas.



Figure 5 : L'essai d'étalement.

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau 5

Tableau 5 : L'étalement du mortier renforcé pour des différents pourcentages de fibres.

Teneur en fibres (%)	Etalement (cm)	Teneur en fibres (%)	Etalement (cm)
M	24	-	-
M40-1	23.5	M60-3	22
M40-2	23	M60-4	20.5
M40-3	22	M80-1	22.5
M40-4	21.5	M80-2	21.5
M60-1	23.5	M80-3	20.5
M60-2	22.5	M80-4	17

A partir de ces résultats, l'histogramme suivant présente l'amélioration en pourcentage de l'étalement par apport au mortier témoin.

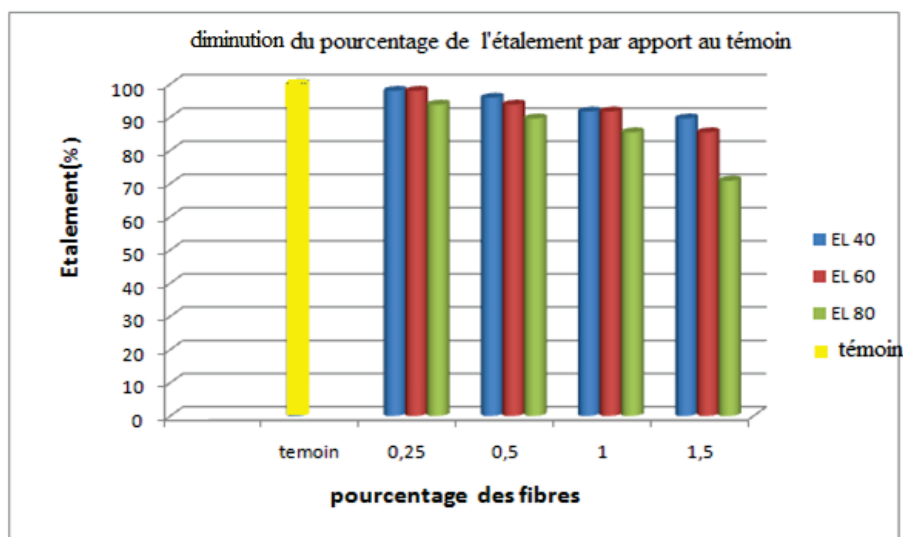


Figure 6 : Diminution du pourcentage de l'étalement par apport au mortier témoin.

La figure 6 montre que les fibres, en général, diminuent l'étalement ; on constate que les élancements 40, et 60 ont peu d'influence sur l'étalement pour différents pourcentages. Par contre l'élancement 80 renforcé de 1.5 % diminue la fluidité du mortier d'une manière significative jusqu'à 30 % par apport au témoin. Ces résultats sont contraires aux résultats de la masse volumique, on constate qu'au cours du malaxage les fibres s'accrochent entre elles à cause de leurs formes et leurs longueurs ce qui forme des oursins en augmentant la viscosité. Le mortier devient plus difficile à mettre en œuvre, donc l'ouvrabilité diminue.

5 Etude des mortiers de fibres à l'état durci

5.1 La masse volumique

Nous présentons l'essai sur la masse volumique à l'état durci d'un mortier à différents teneurs en illustrant les résultats dans le tableau 6.

Tableau 6. Masse volumique du mortier renforcé pour des différents pourcentages de fibres.

Teneur en fibres (%)	M_v (g/cm ³)	Teneur en fibres (%)	M_v (g/cm ³)
M	2.21	-	-
M40-1	2.23	M60-3	2.32
M40-2	2.26	M60-4	2.40
M40-3	2.33	M80-1	2.25
M40-4	2.38	M80-2	2.30
M60-1	2.23	M80-3	2.40
M60-2	2.26	M80-4	2.44

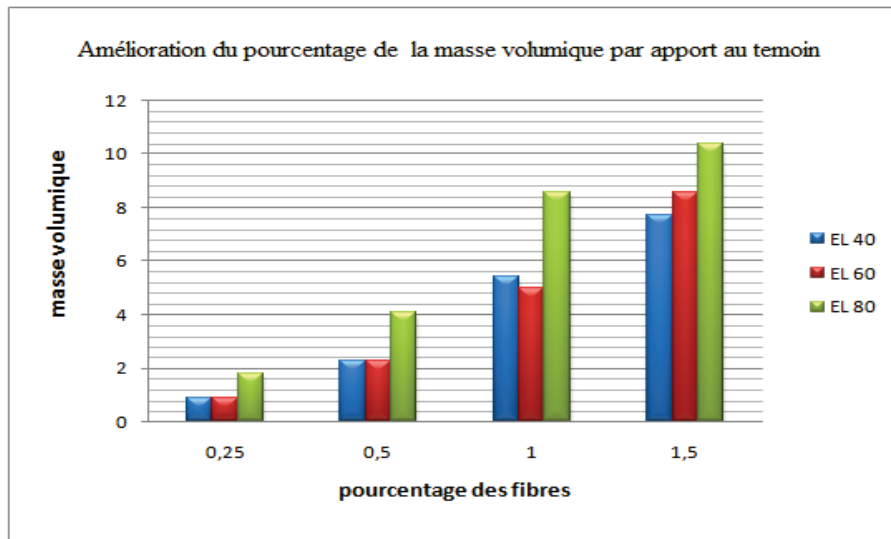


Figure 7. Histogramme représentant l'amélioration du pourcentage de la masse volumique par apport au mortier témoin.

D'après les résultats obtenus, la masse volumique à l'état durci d'un mortier témoin est de 2.21 g/cm³, cette valeur s'est améliorée proportionnellement en fonction de la teneur des fibres, cette amélioration revient à l'augmentation du poids tout en gardant le même volume des l'éprouvette 4x4x16.

5.2 Essais mécaniques

5.2.1 Essai de flexion trois points (NF P 15-471)

Les essais de flexion sont effectués sur une machine ZWICK de type Z010 pilotée par ordinateur, équipée du logiciel TEXT EXPERT V 12.0, et dotée d'un capteur de force de 10 KN. Celle-ci est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la force et du déplacement, la vitesse d'essai est de 10mm/mn.

Quelques résultats obtenus sont illustrés dans les courbes ci-dessous à l'aide du logiciel OriginPro 8.0.

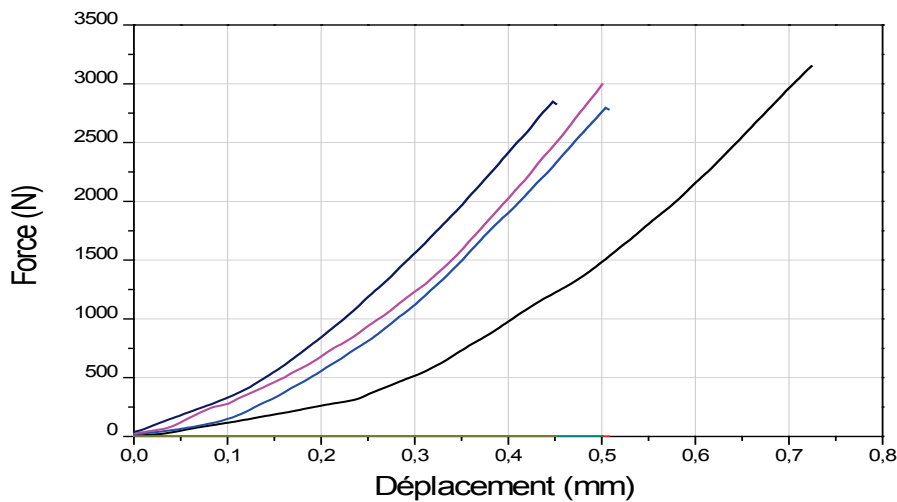


Figure 8. Variation de la contrainte-temps du mortier témoin en flexion.

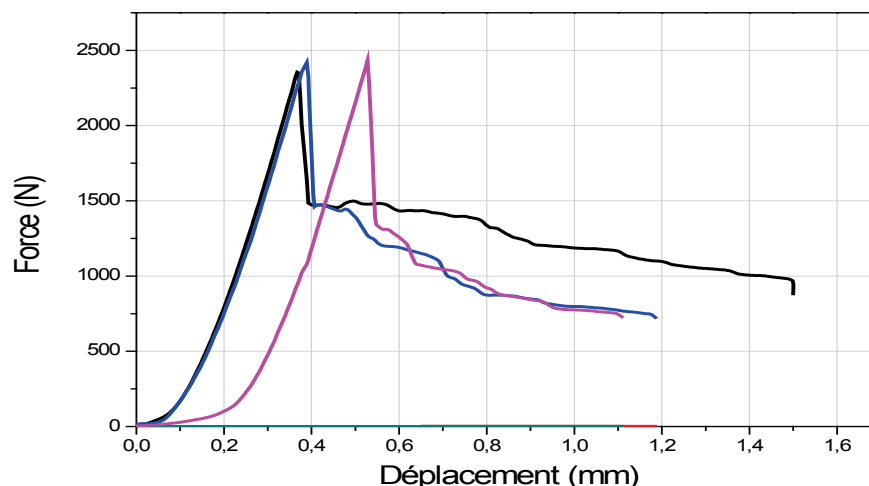


Figure 9. Variation de la charge-déplacement du mortier M40-2.

A partir des courbes force – déplacement on a localisé les résistances ultimes de rupture à la flexion des éprouvettes confectionnées, le tableau 7 récapitule les résultats obtenus.

Tableau 7. Les valeurs obtenues de la résistance mécanique maximale en flexion pour différents élancement et teneurs.

Teneur en fibre (%)	Valeurs (Mpa)	Teneur en fibre (%)	Valeurs (Mpa)
M	07.03	-	-
M40-1	06.23	M60-3	06.75
M40-2	05.77	M60-4	07.40
M40-3	06.64	M80-1	07.09
M40-4	06.37	M80-2	07.15
M60-1	06.34	M80-3	07.60
M60-2	06.09	M80-4	12.01

L'influence des fibres métalliques sur le comportement à la flexion est analysée suivant la teneur et l'élancement. Du point de vue de l'élancement, les rapports $\frac{L}{D}$: 40 et 60 dégrade les performances mécanique vis-à-vis de l'action de flexion, cela peut s'expliquer du fait que ces fibres ne peuvent pas former une barrière continue contre les efforts appliqués le long de la zone de flexion. Contrairement, pour l'élancement 80 la longueur des fibres arrivent à limiter toutes les charges appliquées quelque soit la teneur d'incorporation dans le mortier.

- Du point de vue teneur d'incorporation on remarque:
 - Une amélioration proportionnelle en fonction du taux d'incorporation, de la résistance à la flexion pour l'élancement 80.
 - Pour l'élancement 60, l'effet positif sur la résistance à la flexion, commence à partir d'une teneur de 1 %.
 - L'élancement 40 n'a aucune influence positive sur la résistance à la flexion quelque soit la teneur dans le mortier.

Suite à ces résultats on peut dire que l'élancement 80 donne la meilleure compatibilité mécanique avec le mortier vis-à-vis de la résistance à la flexion.

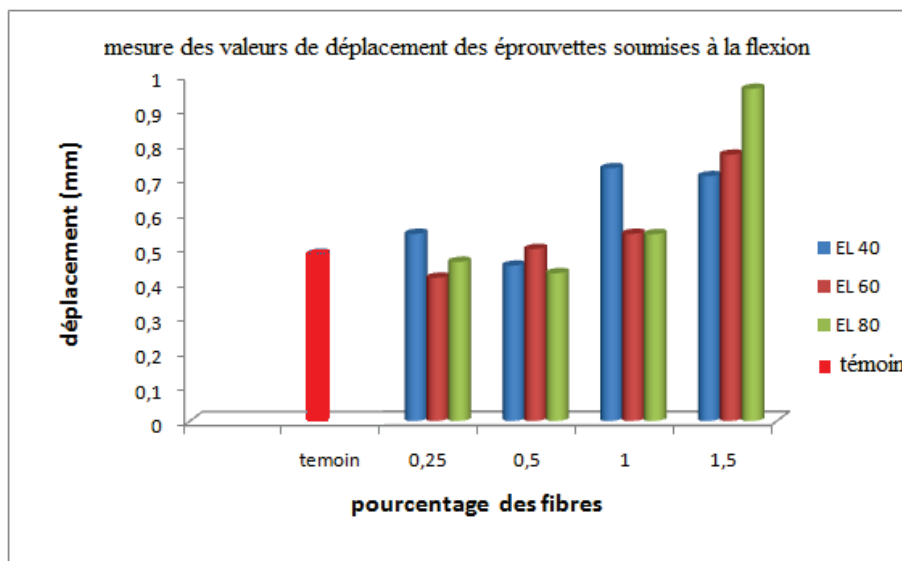
5.2.2 Détermination du déplacement de la flèche correspondant à la force maximale

Au cours de l'essai, le déplacement de la flèche est varié d'une catégorie à l'autre des éprouvettes prismatiques.

Tableau 8. Déplacement de la flèche correspondant à la force maximale.

Teneur en fibres (%)	Déplacement de la flèche (mm)	Teneur en fibres (%)	Déplacement de la flèche (mm)
M	0.484	-	-
M40-1	0.542	M60-3	0.542
M40-2	0.450	M60-4	0.771
M40-3	0.732	M80-1	0.461
M40-4	0.709	M80-2	0.428
M60-1	0.415	M80-3	0.541
M60-2	0.498	M80-4	0.962

A partir de ces résultats l'histogramme suivant présente clairement le déplacement de la flèche en (mm) pour différentes teneurs et différents élancements.

**Figure 10. Déplacement de la flèche correspondant à la force maximale.**

Les résultats clarifient, que l'effet de l'élancement sur la ductilité des éprouvettes apparaît à partir de la teneur de 1,5%.

Pour des teneurs inférieures l'effet de l'hétérogénéité est primordial et néglige l'effet du rapport $\frac{L}{D}$, ce qui nous informe que le déplacement (ductilité) est une fonction proportionnelle de $\frac{L}{D}$ à partir d'une teneur de 1,5 %.

5.2.3 Détermination de valeurs correspondantes au début de la phase résiduelle en flexion

D'une façon générale les fibres ont un certain effet de couture au sein du mortier ce qui permet de garder la structure liée entre elle après l'apparition des fissures engendrées par les différentes sollicitations mécaniques.

Sur la base de cette optique, nous déterminons le pourcentage par rapport à la force maximale de la valeur de la force d'apparition de la résistance résiduelle du mortier, le tableau 9 présente ces valeurs.

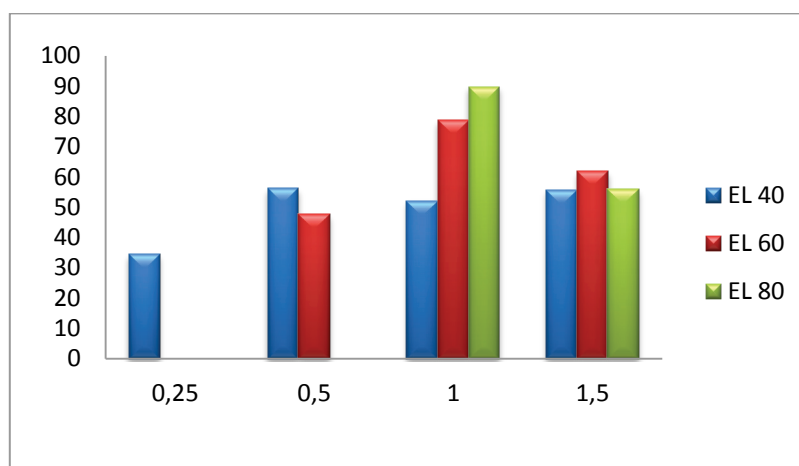
A l'exception de la teneur d'incorporation de 1%, les résultats présentent certaines contradictions vis-à-vis des considérations de l'élancement et de la teneur. Cette ambiguïté est expliquée par le malaxage difficile au cours de la confection des éprouvettes, ce qui influe négativement sur le mortier à l'état durci en qualité d'homogénéisation.

La teneur 1% présente un résultat raisonnable qui peut mettre en évidence l'influence du rapport $\frac{L}{D}$ des fibres sur la valeur de commencement de la force résiduelle qui augmente d'une manière proportionnelle à l'augmentation des longueurs des fibres.

Tableau 9. Détermination des valeurs correspondantes au début de la phase résiduelle en flexion.

Notation	Les valeurs (N)	Force max	Pourcentage (%)
M	/	/	/
M40-1	A partir de 912	2660	34.
M40-2	A partir de 1382	2463	56
M40-3	A partir de 1480	2836	52
M40-4	A partir de 1513	2719	55
M60-1	/	/	/
M60-2	A partir de 1239	2601	47
M60-3	A partir de 2267	2884	78
M60-4	A partir de 1952	3158	61
M80-1	/	/	/
M80-2	/	/	/
M80-3	A partir de 2910	3243	89
M40-4	A partir de 2869	5127	55

Ces résultats sont présentés en histogramme comme indique la figure 11.

**Figure 11. Détermination de valeurs correspondantes au début de la phase résiduelle en pourcentage.**

5.2.4 L'essai de compression

Les essais de compression sont effectués sur un bâti de flexion de force maximale 100 KN, muni d'un dispositif de compression pour les mortiers 4x4x16 et pilotée par ordinateur équipé du logiciel TEXT EXPERT V 7.11. Les résultats obtenus, nous ont permis de déterminer la valeur moyenne du témoin et des différentes séries de mortiers renforcés.

Tableau 10. Valeurs obtenues de la Rm en compression pour différents élancements et teneurs.

Code	Valeurs (Mpa)	Témoin M	La variation (Mpa)	Pourcentage (%)
M40-1	46.73	35.70	11.03	30.90
M40-2	45.45		09.75	27.31
M40-3	41.00		05.30	14.84
M40-4	34.12		-1.58	-4.42
M60-1	45.25		09.55	26.75
M60-2	42.73		07.03	19.69
M60-3	40.20		04.50	12.60
M60-4	40.07		04.37	12.24
M80-1	34.82		-0.88	-2.46
M80-2	40.53		04.83	13.53
M80-3	39.59		03.89	10.90
M80-4	37.35		01.65	4.62

Ces valeurs sont présentées schématiquement sur l'histogramme de la figure suivante :

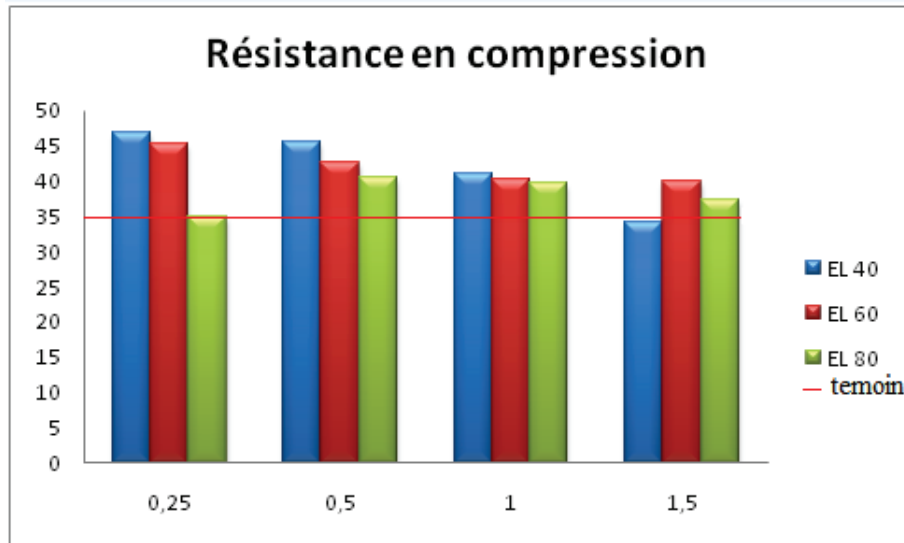


Figure 12. Les valeurs obtenues de la résistance mécanique en compression pour différents élancements et teneurs.

Les résultats obtenus sont analysés du point de vue élancement, teneur et les deux facteurs en même temps.

- Du point de vue de l'élancement

L'élancement donne toujours de mauvais résultats par rapport aux autres cela s'explique du fait que, la surface de distribution des ces fibres est plus grande, cette surface diminue au fur et à mesure que le rapport $\frac{L}{D}$ diminue, ce qui permet de former une zone condensée par les fibres qui forme une barrière contre l'initiation et la propagation des fissures au cours des sollicitations mécaniques.

- Du point de vue de la teneur

On constate que, la résistance à la compression diminue lorsque la teneur des fibres augmente, cette relation inversement proportionnelle est expliquée par l'hétérogénéité qui crée au cours du malaxage d'une part, et d'autre part par la quantité suffisante pour la compatibilité mécanique fibre – matrice vis-à-vis de l'action de compression, dans ce cadre cette compatibilité est limitée par la teneur de 1%.

- Du point de vue qui prend en considération les deux facteurs en même temps,

La teneur de 0.5% présente un écart homogène entre les élancements 40, 60 et 80. Cette teneur nous permet de clarifier l'effet de $\frac{L}{D}$ sur la résistance à la compression, cette dernière est inversement proportionnelle aux pourcentages et aux longueurs de ces fibres, qui sont caractérisées par un embuage de 0.5 %.

6 Conclusion

Cette étude est réalisée au niveau du laboratoire central des travaux publics (LCTP) et de l'unité de recherche, matériaux-procédé et environnement (UR-MPE) afin de clarifier l'influence des fibres d'acier qui se caractérise par un embuage de 0.5 % et un module de Young de 21GPa sur le comportement et les caractéristiques physico-mécaniques à l'état frais et à l'état durci des mortiers confectionné selon les modalités de la norme EN P- 196.

L'objectif recherché à travers cette étude s'oriente vers un compromis entre les propriétés, élancement et la teneur des fibres d'acier d'une part, et les performances physico-mécaniques à l'état frais et à l'état durci des mortiers d'autre part. Dans ce cadre, l'augmentation du taux et de l'élancement rend l'ouvrabilité très difficile, ce qui augmente le pouvoir d'hétérogénéité et de présence des pores à l'état durci. Ce problème peut être résolu par l'utilisation des superplastifiants, ce qui permet d'augmenter l'étalement et améliorer la fluidité des mortiers. La masse volumique à l'état frais et à l'état durci est une fonction proportionnelle à la teneur et l'élancement des fibres d'acier, il s'agit d'une condensation du mortier

par l'augmentation de la masse tout en gardant le même volume. En ce qui concerne les caractéristiques mécaniques à la flexion, nous avons conclu que l'augmentation de la force maximale est proportionnelle à l'augmentation de la teneur pour l'élançement de 80, cette proportionnalité fait apparaître à partir du taux de 1% pour l'élançement de 60. Par contre, pour élançement de 40, les performances mécaniques vis-à-vis de l'action de la flexion se sont dégradées. Cette dégradation est due à la discontinuité de la barrière formée par les fibres ayant un élançement égale à 40.

Du point de vue ductilité, bien que l'élançement 80 donne des meilleurs résultats car la barrière formée par ces fibres est continu ceci améliore aussi la valeur de début de la force résiduelle.

L'amélioration de la résistance à la compression du mortier fibré est liée au phénomène de coutures, c'est-à-dire la protection contre l'initiation et la propagation des microfissures au sein du mortier, ce phénomène, est proportionnel à la condensation des fibres, de ce fait, la distribution des fibres courtes est plus dense que celle des fibres longues, donc avec un élançement inférieur, la résistance à la compression sera supérieure.

Ces améliorations sont limitées par la teneur en fibres, les meilleurs résultats pour une bonne compatibilité mécanique vis-à-vis de l'action de la compression sont obtenus pour la fraction de 1%. Le compromis de l'élançement-fraction, est donné pour une teneur de 0.5%.

REFERENCES

- [1]- A. Bouheraoua, Effets des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton, étude expérimentale. Thèse de magister, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006.
- [2]- M. MIMOUNE, Les renforts fibreux utilisés dans les matériaux de Construction, Revue Algérie Equipement, 15(1994) 2-7.
- [3]- N.E. Kedjour, Le laboratoire du béton, Office des Publications Universitaires, 2003.
- [4]- A. Aoumeur, R. Zeroual, Effet de la nature des sulfates sur les propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des coulis et mortiers de ciment avec et sans super-plastifiant ». Thèse d'ingénieur, Boumerdès, 2008.
- [5]- P. Rossi, Les bétons de fibre métalliques, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 1998.
- [6]- R. Chaïd, Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2006.
- [7]- H. Baluch, Y.N. Ziraba, A.K. Azad, Fracture Characteristics of Sisal Fibre Reinforced Concrete. Int. J. Cement. Composites Lightweight Concrete, 9(3) (1987) 157-168.
- [8]- N.C. Das Gupta, P. Paramasivam, S.L. Lee, Mechanical Properties of Coir Reinforced Concrete Paste Composites. Housing Science, Pergamon Press Inc. 2(5) (1978) 391-406.
- [9]- P. Rossi, N. Harrouche, F. Lemaou, Comportement mécanique des bétons de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et précontraint. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics 479(1989) 165-183.