

Les propriétés mécaniques des mortiers renforcés par des fibres en acier

MASMOUDI.M¹

¹Magister. Département de Génie Civil, Université de Biskra.
1.laboratoire université de biskra,
Adresse mail : masmoudi_mouni@yahoo.fr

Résumé :

L'objectif de ce travail consiste en l'étude des mortiers renforcés par des fibres en acier dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques à savoir la résistance à la flexion et à la traction, le comportement de l'interface fibre/matrice et son influence sur la résistance et enfin l'influence des propriétés de la matrice et les caractéristiques géométriques de la fibre sur la résistance.

Mots clés : Mortier en fibres d'acier, Résistance à la flexion, Résistance à la traction, influence des constituants de la matrice, caractéristiques géométriques des fibres

Abstract :

The objective of this work consists in the study of the mortars reinforced with steel fibers in order to improve the mechanical properties namely the flexural strength and tensile strength, the behavior of the fiber / matrix interface and its influence on the strength and finally the influence of the matrix properties and the geometrical characteristics of the fiber on resistance.

Keywords: mortar steel fibers, the flexural strength, tensile strength, influences the constituents of the matrix, the geometric characteristics of the fibers

1 Introduction

Le béton renforcé de fibres d'acier est un mélange ordinaire, contenant une distribution uniforme de fibres d'acier courtes. Ces dernières renforcent la matrice cimentaire et lui confèrent un caractère ductile en phase post-fissuration [1].

En effet, les propriétés mécaniques de la matrice cimentaire renforcée par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter-faciale entre fibre et matrice [2].

L'addition des fibres en acier dans une matrice cimentaire modifie fortement la rhéologie du matériau à l'état durci [2].

L'incorporation d'une certaine quantité de fibres à la matrice cimentaire (mortier ou béton) n'introduit pas de nouvelles conditions sur la nature des composants utilisés [3]. On peut utiliser le même dosage en ciment, les mêmes granulats et également le même adjuvant, toutefois la plus grande efficacité des fibres ne sera obtenue qu'après une étude minutieuse de la composition [4,5].

La comparaison recommandée est basée sur le même dosage en ciment et la même ouvrabilité, d'où une composition du granulat.

Le travail que nous présentons est une étude expérimentale menée sur plusieurs échantillons. Ceci pour :

- étudier l'effet de l'incorporation des fibres en acier dans un mortier. La première série de corps d'épreuve normalisés sera soumise à des essais d'écrasement afin de déterminer la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion à différentes échéances.

2 PRESENTATION DES MATERIAUX TESTES

2.1 Définition des corps d'épreuve

Les essais sont effectués sur deux types d'éprouvettes :
des éprouvettes Prismatiques (4x 4 x 16 cm³) (1b), destinées aux essais de traction par flexion



Photos : 1(a) 1(b)

- des éprouvettes cubiques (4x 4 x 4 cm³) (1a, 1c), destinées aux essais d'écrasement pour la détermination de la résistance à la compression.



1c)

Le choix de la dimension des éprouvettes est conditionné par la dimension des fibres et le type d'élément de structure à caractériser.

2.2 Choix de la composition du mortier :

On étudier un mélange suffisant pour assurer un enrobage correct des fibres et améliorer ainsi l'adhérence, parce que la plus grande efficacité des fibres ne sera obtenue qu'après une optimisation de la composition [3].

L'étude de l'influence des proportions relatives des différents composants : granulats, ciment, fibres, superplastifiant, eau, conduirait à un nombre d'essais considérables. Plusieurs mélanges ont été fabriqués en conservant les deux rapports eau/ciment ($E/C = 0.45$ et $E/C = 0.5$), mais en faisant fixé le dosage du ciment en 450 Kg/m³ et la maniabilité du mortier de chaque rapport.

Les pourcentages de fibres longues varient en (1%, 3%, 5%, 7%) par rapport poids du ciment

Pour chaque mélange, des éprouvettes ont été soumises à des essais de compression, de traction par flexion, de flexion après 7 jours, 28 jours. Cette phase avait pour l'objet d'évaluer L'influence du dosage de fibres en acier sur les propriétés mécaniques des mortiers

Étudier l'influence le taux de fibres d'acier sur la résistance à la compression et à la traction par flexion du béton préparé avec des matériaux locaux (ciment, sable).

2.3 Matériaux de base

2.3.1 Ciment

Tous les mortiers ont été fabriqués avec un type de ciment provenant de la cimenterie de Ain Touta (wilaya de Batna) à savoir le CPJ-CEM II/A 42. Les compositions chimiques et minéralogiques de ces ciments sont présentées aux tableaux.1 et.2.

Tableau. 1 Composition chimique du ciment

Composition chimique (%) : 1. CPJ-CEM II/A 42.5												
Type de ciment	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O	Chaux libre	Perte au feu	Résidu insoluble
1	20.34	5.37	3.00	61.69	1.80	2.20	0.027	0.76	0.14	0.97	5.03	1.12

Tableau .2: Composition minéralogique du ciment

Composition minéralogique (%)				
Type de ciment	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
CPJ-CEM II/A 42.5	58.3	14.6	8.7	11.26

2.3.2 Sable

Le sable utilisé dans tous les mélanges du mortier est un sable naturel (0/5) provenant de Lioua (wilaya de Biskra), la figure 1 présente les résultats de l'analyse granulométrique du sable utilisé.

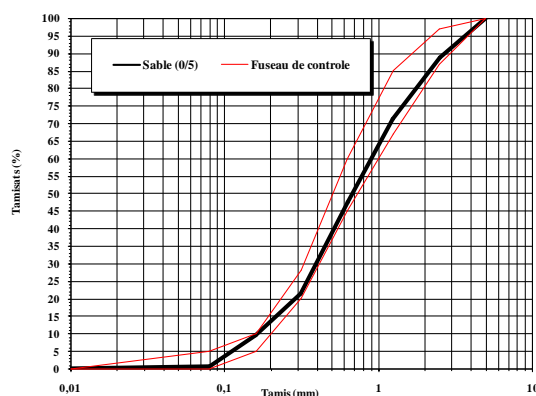


Figure.1 : Courbe granulométrique du sable

2.3.3 Adjuvants

Lors de cette étude nous avons utilisé un seul type d'adjuvant provenant de GRANITEX Oued Smar (Wilaya d'Alger). Le adjuvant est un superplastifiant nommé MEDAFLOW 30, il est conforme aux exigences des normes NFP 18333 et NFP 18336. Ce produit est un réducteur d'eau. Il est compatible du béton et avec tous les types de ciments. Ses caractéristiques sont présentés au tableau



Photo2 : Superplastifiant

Tableau.3. Caractéristiques du superplastifiant MEDAFLOW

forme	couleur	densité	PH	Teneur en chlore
Liquide	jaunâtre	1.2 ± 0.01	6 - 6.5	< 1g/l

2.3.4 Les fibres utilisées :

Le type de fibres métallique à été étudié, les fibres cylindriques Dramix ® de Bekaert qui sont munies de crochets et se présentent collées par groupes, sous forme de plaquette (cette solution technologique a été choisie pour éviter la mise en pelote, ou « oursin », des fibres, au moment de la mise en œuvre du béton.

Tableau.4. caractéristique géométriques de fibres métallique

Type de fibre	Longueur	Largeur	Epaisseur	Diamètre	Masse volumique
	mm	mm	mm	mm	(Kg/m ²)
Fibres Bekaert	50	-	-	0,62	7800
	24.5	-	-	0,62	7800



Photo 3 : Fibres métalliques Dramix

2.3.5 Eau de gâchage

L'eau est le corps le plus répandu dans la nature mais elle est rarement rencontrée à l'état pur car elle contient le plus souvent des ions en solution et des particules solides en suspension, elle peut être purifiée par élimination des matières organiques, des sels minéraux en quantités trop abondantes et éventuels éléments toxiques.

Pour la confection des mortiers nous avons utilisé de l'eau potable.

L'eau de gâchage doit être conforme au prEN 1008. Le tableau.5 donne la composition des différents mélanges.

Tableau5. Composition des M.F.M. et du mortier témoin.

Longueur de la fibre (mm)	% de fibre par rapport poids du ciment	% de superplastifiant par rapport poids m ³ de ciment	E/C	L'affaissement
Témoin	0	0	0,45	12
		0.1		12,5
24,5	1	0.1	0.5	12
		3		11,8
		5		11,66
		7		11,5
Témoin	0	0	0.5	13
		0.1		13,5
24,5	1	0.1	0.5	13
		3		12,9
		5		12,7
		7		12,4

2.4 Caractérisation

Compte tenu des difficultés que présente la mesure des propriétés rhéologiques des mortiers, on s'est contenté des essais :

- mesurant les propriétés d'écoulement d'un mortier sous étalement.

Nous avons cherché à estimer l'ordre de grandeur de la variation des performances que l'on peut obtenir sur des mortiers pour une maniabilité fixée.

L'objectif pratique est, en effet, de réaliser des mortiers renforcés par fibres d'acier courtes ayant la même maniabilité qu'un mortier témoin [6].

Nous présentons les résultats obtenus sur des mortiers à l'aide de un seul type de fibres d'acier (une industrielle commercialisée) et une seule qualité de superplastifiant.

2.4.1 Etude à l'état frais

Quelques essais ont montré que l'ouvrabilité du mortier était fortement influencée par le pourcentage et la longueur des fibres. En effet dans le cas d'une fabrication conclusions de l'étude de SERNA ROS [6]. Pour des bétons (micro bétons) ayant un faible module de finesse (bétons de petits granulats), il est possible d'ajouter des fibres jusqu'à 1% (en volume) sans précautions particulières et Jusqu'à 2% et plus en contrôlant la fabrication d'une manière rigoureuse.

Les évolutions des affaissements est tout à fait comparables à celles du mortier, comme le montre le tableau 6. Les résultats sont la moyenne des essais sur des gâchées. Tableau .6. Maniabilité

Tableau .6. Maniabilité

Longueur de la fibre (mm)	% de fibre par rapport poids du ciment	% de superplastifiant par rapport poids m ³ de ciment	E/C	L'affaissement
Témoïn	0	0	0,45	12
		0.1		12,5
24,5	1	0.1	0.5	12
		3		11,8
		5		11,66
		7		11,5
Témoïn	0	0	0.5	13
		0.1		13,5
24,5	1	0.1	0.5	13
		3		12,9
		5		12,7
		7		12,4

2.4.2 Etude à l'état durci

Tableau.7 : Présente les résultats des résistances obtenues avec les mélanges élaborés sur une moyenne de trois essais par éprouvettes.

Tableau.7. Résistance à la compression sur éprouvettes Cubiques ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$)

Volume de fibres en (%)	0% N	1% MF C 10	3% MF C30	5%MF C50	7% MF C70	E/C
Rc 7 (MPa)	37	39.1	41.7	43	42	0,45
Rc 28 MPa	49	51.1	53	55	53.4	
Rc 7 (MPa)	34.5	36	38	40	38.7	0,5
Rc 28 MPa	46.5	48	50	51.7	49.5	

Les résultats des essais à la compression, varient en fonction de l'âge de l'éprouvette et les pourcentages des fibres. Une légère augmentation de la résistance à la compression par rapport au mortier témoin avec l'utilisation de quatre dosages de fibres d'acier (1, 3, 5,7%). Ces ci confirment le fait que les fibres d'acier aient une influence importante sur la résistance du mortier et que plus le pourcentage est important, plus l'influence est grande [5].

Les valeurs du tableau donnent les résistances à la compression de tous les mortiers qui ont été fabriqués sur la base d'un seul type de fibre d'acier courte. Ces valeurs indiquent également que la résistance à la compression est peu influencée par l'ajout de fibres. Bien que, dans certains cas, les gains de résistance peuvent atteindre 12%, il est intéressant de constater que la résistance à la compression augmente avec le

dosage en fibres jusqu'à une valeur seuil qui correspond à un dosage de 5%, pour les fibres de dimensions 0,62mm x 24,5mm.

Pour le dosage à 7 % de fibres une mène diminution de la résistance à la compression qui peut être expliquée par le fait que, à fort dosage.

L'ajout de fibres exerce un effet de desserrement important sur le squelette granulaire, et réduit la maniabilité du mélange [5].

2.4.3 Influence du pourcentage de fibres d'acier sur la résistance à la compression

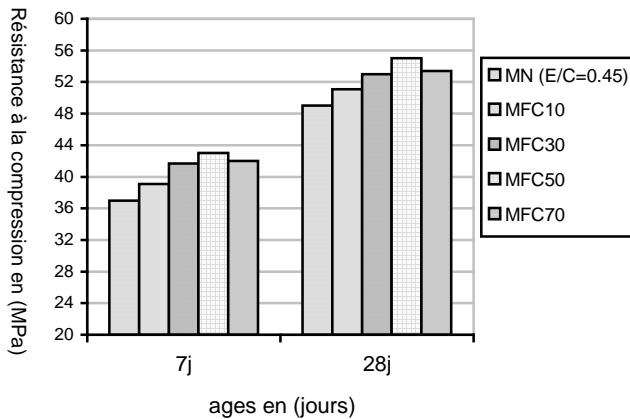


Fig.2. Résistance à la compression d'un mortier

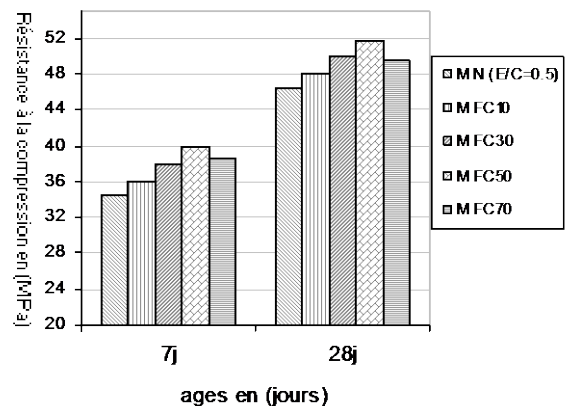


Fig.3. Résistance à la compression d'un mortier

Les deux figures (2 et 3) montrent l'influence du pourcentage de fibres d'acier courtes sur la résistance à la compression pour les différentes échéances.

- l'ajout de fibres d'acier engendre une légère augmentation de la résistance en compression des mortiers. Cette augmentation est importante pour un dosage de fibres égales à 5 % par rapport aux mortiers témoins sans fibres.

- La résistance de compression du mortier de fibres d'acier accroît légèrement par rapport à la résistance du mortier témoin pour un rapport E/C = 0.45 en fonction le pourcentage de fibres.

- Pour le dosage 7% de fibres d'acier courtes, on constate une légère diminution de la résistance à la compression comparativement au cas où le pourcentage de fibres est égal 5%.

- Pour le dosage à 7 % de fibres une mène diminution de la résistance à la compression qui peut être expliquée par le fait que, à fort dosage. L'ajout de fibres exerce un effet de desserrement important sur le squelette granulaire, et réduit la maniabilité du mélange [6].

On constate que pour le rapport (E/C= 0.5) une légère augmentation de la résistance à la compression lorsque le dosage de fibres d'acier passe de (1%,3% à 5%) et n'apporte qu'une petite amélioration (3.12%,7.52% à 11.18%) par rapport au mortier témoin.

2.4.4 Influence du rapport E/C sur la résistance à la compression des mortiers renforcés de fibres d'acier

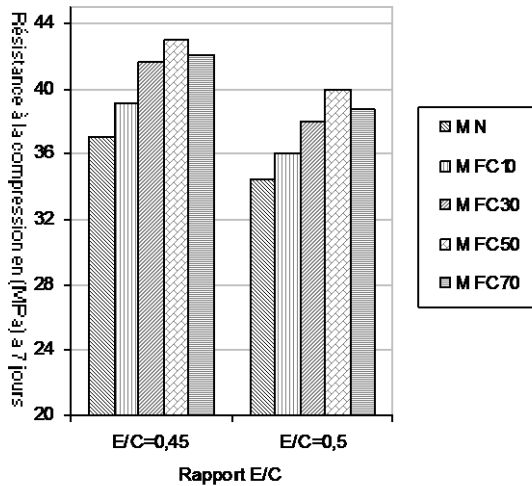


Fig.4.L'influence du rapport E/C sur la résistance à la compression à 7 jours en fonction du pourcentage de fibres d'acier.

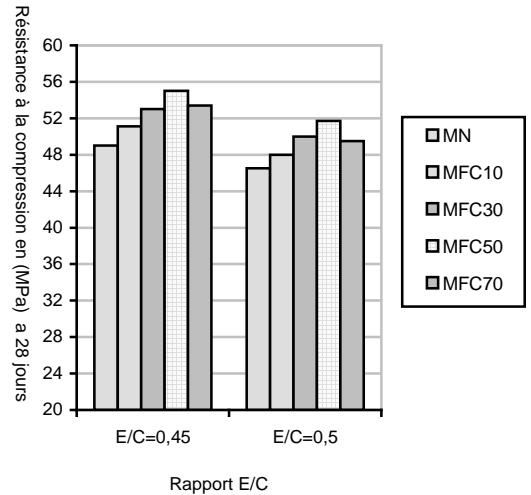


Fig.5. L'influence du rapport E/C sur la résistance à la compression à 28 jours en fonction du pourcentage de fibres d'acier.

Pour les mortiers renforcés de fibres d'acier, les résultats obtenus, illustrés dans les figures 4 et 5 permettent de remarquer la décroissance de la résistance des mortiers renforcés par de fibres d'acier et d'un rapport E/C variant de 0.45 à 0.5. Cela confirme que l'augmentation du rapport E/C (élévation de la quantité d'eau) provoque une réduction de la résistance à la compression. On constate ici qu'avec des éprouvettes de mortiers de fibres et pour des différents pourcentages, la résistance augmente légèrement dans le rapport E/C =0.45 comparativement au cas où le rapport E/C=0.5. En revanche, une diminution significative est marquée avec les différents pourcentages de fibres d'acier avec un rapport E/C =0.5.

2.4.5 Résistance à la traction par flexion sur éprouvettes Prismatiques

4 4×4×16 cm³ :

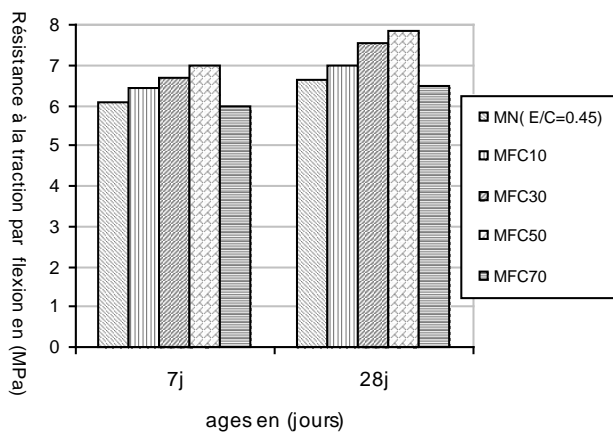


Fig .6.Résistance à la traction par flexion d'un mortier renforcé de fibres d'acier.

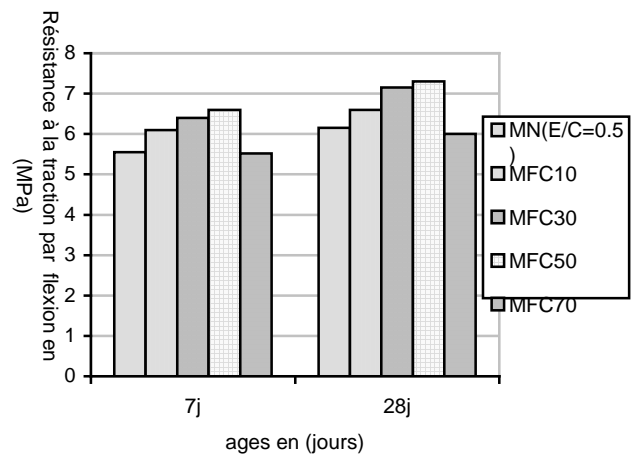


Fig.7. Résistance à la traction par flexion d'un mortier renforcé de fibres d'acier.

Les figures (6et7) montrent et assurent que l'ajout de fibres d'acier engendre une augmentation de la résistance en traction par flexion des mortiers en fonction du temps. Cette amélioration est importante et implique que les fibres d'acier sont en mesure de modifier le comportement de la structure du matériau.

L'effet des fibres d'acier sur l'évolution de la résistance du mortier au cours du temps n'est pas très significatif.

On peut constater une augmentation de la résistance à la traction par flexion par rapport au mortier témoin. Ceci confirme le fait que les fibres d'acier obtiennent une influence importante sur la résistance du mortier et que plus le pourcentage est important, plus l'influence n'est grande

2.4.6 Résistance à la flexion sur éprouvettes Prismatiques

Tableau.8.valeurs des résistances de flexion sur éprouvettes
Prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$

Volume de fibres en (%)	0% (MN)	1% (MFC10)	3% (MFC30)	5% (MFC50)	7% (MFC70)	E/C
Rc 7 (MPa)	6.8	7.6	8.05	8.4	6.5	0,45
Rc 28 (MPa)	7.2	8.2	8.5	9	7.3	
Rc 7 (MPa)	6.2	7	7.55	8.05	6.1	0,5

Le tableau.8. Donne les valeurs des résistances à la flexion obtenue pour les mélanges des mortiers et des mortiers renforcés par de fibres en acier.

Ces grandeurs permettent d'observer une augmentation de la résistance à la flexion avec le dosage en fibres d'acier, et ce, bien qu'il y ait une augmentation significative de la résistance dans les deux rapports E/C.

Ces valeurs montrent également que les résistances à la flexion ne sont pas très différentes. En fait, la résistance à la flexion est légèrement plus élevée pour les mélanges de rapport E/C de 0.45, et légèrement peu élevée pour les mélanges de rapport E/C de 0.5.

L'ajout de fibres d'acier courtes crée une légère augmentation de la résistance à la flexion des mortiers en fonction de temps. Cette amélioration est importante sur le dosage à 5% de fibres d'acier. On constate une augmentation de la résistance à la flexion par rapport au mortier témoin sans fibres.

Pour le dosage 7% de fibres d'acier courtes, on constate une légère diminution de la résistance à la flexion par rapport au témoin sans fibres.

L'ajout de fibres d'acier permet d'accroître considérablement la résistance à la flexion des mortiers. Il est significatif de constater que, dans les mortiers, la résistance à la flexion du matériau décroît de façon importante avec l'augmentation du rapport E/C.

3 Conclusion

Les résistances à la flexion ne sont pas très différentes entre les deux rapports.

Nous avons mis en évidence les effets de l'introduction de fibres d'acier dans la matrice cimentaire.

On observe pour un dosage de 5% de fibres d'acier, une évolution de la résistance à la compression qui augmente par rapport aux dosages (1%,3%) de fibres et de mortier témoin

Un comportement très différent entre les sollicitations de compression et de flexion.

à 7% de fibres d'acier courtes, on observe des faibles performances mécaniques (résistance à la flexion et traction par flexion) par rapport aux mortiers témoins.

Modification de l'endommagement.

D'après l'augmentation de la résistance à la compression de mortiers de fibres d'acier courtes on peut conclure que la présence des fibres dans la matrice permet d'améliorer la ductilité des éprouvettes.

La rupture fragile qui caractérise le mortier sans fibres n'est plus observée en présence des fibres.

- La chute de la résistance à la compression du mortier s'explique par la diminution de sa masse volumique due au changement de la structure interne du mortier.

4 Références:

- [1] S. Kaci, Y. Bouafia, S. Drizi, M. S. Kachi, (1997), Influence de l'élanement des fibres et leur pourcentage en volume sur le comportement mécanique en flexion du béton de fibres métalliques, Troisième Congrès de Mécanique, Tetouan, Maroc,
- [2] BEDDAR, M et al " Valorisation des matériaux Locaux : Contribution à l'Etude et l'Optimisation des bétons renforcés des fibres à base des déchets métalliques." Projet agréé par le MERS, J 2801/04/03/2000.- 2.89
- [3] F. De LARRARD. « Construire en béton. » Collection du LCPC.2002.
- [4] ROSSI P. (2002), «Le développement industriel des bétons de fibres métalliques. », conclusions et recommandations. » BEFIM.2002. Presses de l'ENPC. Paris.
- [5] ROSSI P. (1998), « Les bétons de fibres métalliques », Presse de l'ENPC. Paris
- [6] SERNA ROS P. (1984), "Etude de Contribution des fibres métalliques à l'amélioration du comportement du béton au cisaillement " Thèse Doct. Ing : Ecole national des Ponts et Chaussées, Paris, 77p.
- [7] C. HOY, P.J.M. BARTOS. « Interaction and packing of fibres: effects of the mixing process.3 Proceedings of the third International of RILEM Workshop. High Performance Fibre Reinforced Cement Composites 3 (HPFRCC3), PRO 6, edited by A.E. NAAMAN and H.W. REINHARDT, MAINZ. Germany. May 16-19, pp 185-191